



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**MOŽNOSTI SOFTWARE SINUTRAIN 4.7 PŘI
PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**

SINUTRAIN 4.7 TOOLS FOR PROGRAMMING OF CNC MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zdeněk Král

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Zdeněk Král**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Polzer, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Možnosti softwaru SinuTrain 4.7 při programování CNC obráběcích strojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při programování obráběcích strojů je možno využít řady různých programovacích jazyků a metodik. Tato diplomová práce je zaměřena na software SinuTrain 4.7 a NC programování navržené součástky s názvem Náboj kola osobního automobilu. Jedná se o obrobek s konstrukčními prvky typu: závit, drážkování v otvoru, s tolerovanou válcovou plochou pro nasazení ložiska atp. Pro tuto součást bude vytvořen technický výkres i 3D model, NC program a technologický postup.

Cíle diplomové práce:

- Stručné začlenění řídicího systému Sinumerik 840D mezi ostatní řídicí systémy obráběcích strojů a metody NC programování.
- Rešerše v oblasti materiálů pro výrobu náboje kola osobního automobilu.
- Návrh a zpracování technické dokumentace obráběné součásti – Náboj kola osobního automobilu.
- Praktické ověření technologičnosti konstrukce NC programováním v softwaru SinuTrain 4.7.

Seznam doporučené literatury:

DE VOS, Patrick. SECO TOOLS AB. Metal Cutting Theories in Practice. 1. Sweden: Elanders, 2014.

Traditional machining processes. 1. New York: Springer, 2014. ISBN 978-366-2450-871.

DAVIM, J. Paulo (ed.). Modern machining technology: a practical guide. 1st pub. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-857-9-099-7.

MATTOX, Donald M. Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2010, 746 s. ISBN 978-0-81-552037-5.

SHAW, Milton Clayton. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005, xix, 651 s. ISBN 01-951-4206-3.

QUESADA, Robert. Computer numerical control: machining and turning centers. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005, 548 s. ISBN 01-304-8867-4.

AB SANDVIK COROMANT. Technická příručka obrábění: soustružení - frézování - vrtání - vyvrtávání - upínání nástrojů. 2005.10. Švédsko: Elanders, 2005.

SIEMENS. Sinumerik 840D/840Di/810D: Příručka programování - Základy. 03.04. 2004, 486 s.

SIEMENS. Sinumerik 840D/840Di/810D: Příručka programování - Pro pokročilé. 03.04. 2004, 660 s.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o možnostech NC programování součástky náboj kola osobního automobilu v software SinuTrain 4.7. Teoretická část je zaměřena na začlenění řídicího systému SINUMERIK 840D mezi ostatní řídicí systémy, obsahuje informace o základních metodách NC programování a řeší problémy týkající se oblasti materiálů používaných pro výrobu součástky. Praktická část práce zahrnuje návrh a zpracování technické dokumentace obráběné součástky, technologii výroby a NC program. Výstupem práce je prakticky ověřená funkčnost NC programu pomocí simulace v software SinuTrain 4.7.

Klíčová slova

NC program, CNC, náboj kola osobního automobilu, řídicí systém.

ABSTRACT

This master's thesis is about the possibilities of NC programming of car wheel hub component in software SinuTrain 4.7. The theoretical part is focused on the integration of the SINUMERIK 840D control system with other control systems, it contains informations about basic methods of NC programming and research relate to the field of materials used for the production of component. The practical part of the thesis includes the design and processing of technical documentation of the component, production technology and NC program. The output of this thesis is practical verified the function of the NC program by simulation in software SinuTrain 4.7.

Keywords

NC program, CNC, car wheel hub, control system.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRÁL, Zdeněk. *Možnosti softwaru Sinutrain 4.7 při programování CNC obráběcích strojů*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 77 s. 15 příloh. Vedoucí práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Možnosti Softwaru Sinutrain 4.7 při programování CNC obráběcích strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Bc. Zdeněk Král

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Julišovi, Ph.D. za data a informace týkající se analýzy mikrostruktury a chemického složení.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 ŘÍDICÍ SYSTÉMY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	9
1.1 SINUMERIK	9
1.1.1 SINUMERIK 808	9
1.1.2 SINUMERIK 828	10
1.1.3 SINUMERIK 840D sl.....	11
1.2 FANUC	12
1.3 HEIDENHAIN.....	14
1.3.1 Série TNC 100	14
1.3.2 Série TNC 300	15
1.3.3 Série TNC 500	15
1.3.4 Série TNC 600	16
2 METODY NC PROGRAMOVÁNÍ	17
2.1 ISO programování.....	17
2.1.1 Struktura NC programu	17
2.1.2 Cykly.....	18
2.2 Dílensky orientované programování.....	19
2.2.1 ShopTurn	19
2.2.2 ShopMill	20
2.3 CAD/CAM programování	20
2.4 Synchronní akce.....	21
3 MATERIÁLY PRO VÝROBU SOUČÁSTI NÁBOJ KOLA OSOBNÍHO AUTOMOBILU.....	22
4 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI.....	28
4.1 Tvar součásti	30
4.2 Materiál.....	31
4.3 Volba polotovaru	32
5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	33
5.1 Volba strojů.....	33

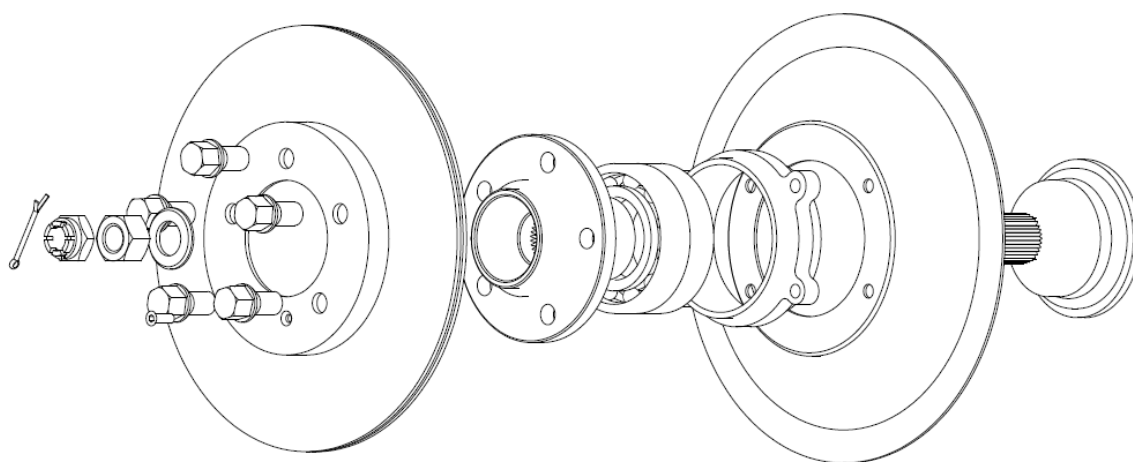
5.2 Upínání obrobků	36
5.3 Volba nástrojů.....	37
5.4 Kontrolní výpočet silového působení při soustružení válcové plochy	46
6 TVORBA NC PROGRAMU	50
6.1 Spuštění SinuTrain V4.7 Ed. 2 – Basic a založení programu.....	50
6.2 Vytvoření nového nástroje.....	52
6.3 Korekční parametry	53
6.4 Tvorba NC programu.....	55
6.4.1 NC program pomocí dílensky orientovaného programování	55
6.4.2 NC program podle ISO pomocí G-kódu a cyklů.	64
6.5 Zefektivnění obrábění nahrubo a načisto v NC programu.....	65
6.6 Simulace.....	66
ZÁVĚR	68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
SEZNAM PŘÍLOH.....	77

ÚVOD

Při programování obráběcích strojů lze využít řady různých řídicích systémů a programovacích metod. Tato diplomová práce pojednává o využití software SinuTrain 4.7 pro programování navržené součástky s názvem náboj kola osobního automobilu.

První teoretické kapitoly jsou zaměřené na řídicí systém Sinumerik 840D, jeho zařazení mezi ostatní používané řídicí systémy obráběcích strojů a popsání základních metod NC programování. Teoretická část se dále zabývá řešerší v oblasti materiálů pro výrobu náboje kola osobního automobilu.

Součást náboj kola osobního automobilu jsem zvolil, abych si rozšířil odborný přehled a získal informace o automobilové konstrukci, o věcech týkajících se uložení kol (viz obr. 1) a o účelu samotné součásti náboj kola osobního automobilu ve funkčním celku náprava. Před samotnou tvorbou NC programu je nutné zpracovat technickou dokumentaci, technologii výroby, zvolit stroje a nástroje pro výrobu zvolené součástky. Návrh technologie výroby je zpracován v technologickém postupu, podle kterého se následně sestavuje NC program. NC program je sestavený ve dvou variantách. V první variantě pomocí dílensky orientovaného programování a ve druhé variantě pomocí G-kódů a cyklů. Výstupem práce je praktické ověření navrhnuté technologie obrábění pomocí simulace v software SinuTrain V 4.7 Ed. 2 Basic.



Obr. 1 Sestava uložení náboje kola a ostatních komponent,
vytvořeno v Autodesk Inventor Professional 2016.

1 ŘÍDICÍ SYSTÉMY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Pro programování CNC strojů se v dnešní době využívá velké množství řídicích systémů. Tato kapitola je zaměřená na tři řídicí systémy, mezi které patří SINUMERIK, FANUC a HEIDENHAIN. Pro ovládání těchto řídicích systémů je nutná znalost základů programování podle ISO kódu. Jednotlivé řídicí systémy se od sebe nepatrně liší a mají své specifikace [1].

1.1 SINUMERIK

Jedná se o řídicí systém CNC strojů vytvořený firmou Siemens AG. Systém Sinumerik je v současné době nabízen ve třech variantách: SINUMERIK 808, 828 a 840D sl. Tyto řídicí systémy lze uplatnit od nejjednodušších CNC strojů až pro náročné modulární koncepce strojů [2].

Uživatelské rozhraní řídicího systému se skládá z [3]:

- obrazovky a kontrolek, sloužících jako zobrazovací a signalizační jednotky,
- tlačítek, spínačů a ručně ovládaných koleček sloužících k ovládání.

Program lze pomocí softwaru řídicího systému vytvořit na počítači, ze kterého se daný program přenese na ovládací panel řídicího systému CNC. Nebo lze program sestavit přímo na ovládacím panelu stroje. Spojení ovládacího panelu se strojem umožňuje sestavení programu, jeho úpravy, editace již vytvořených výrobních programů, manuální ovládání stroje, vypisování alarmů a chyb [3].

1.1.1 SINUMERIK 808

Jedná se o první ze tří variant řídicího systému. Tento řídicí systém je určený převážně pro základní soustružení na obráběcích centrech a frézování na základních standardizovaných frézkách. Jedná se o systém využívaný začínajícími programátory se základními znalostmi CNC techniky. Systém využívá interaktivní grafické prvky zpřehledňující práci se systémem zjednodušující jeho programování [4].

SINUMERIK 808D

Jedná se o přednastavený řídicí systém splňující požadavky základních strojů. Řídicí systém se využívá u strojů určených pro soustružení a frézování [2, 5].

Typické oblasti použití [5]:

- stroje se 4 osami na jednom obráběcím kanále,
- stroje s šikmým lůžkem a ploché CNC stroje,
- manuálně řízené CNC soustruhy.

Mezi výhody patří [5]:

- intuitivní a jednoduché operátorské rozhraní,
- široký rozsah technologických cyklů s grafickou podporou,
- připojení strojního ovládacího panelu pomocí USB portu.

SINUMERIK 808D Advanced

Pokročilejší verze systému. Je přednastaven tak, aby splňoval požadavky kladené na standardní stroje. Komunikace po vysokorychlostních sběrnících mezi strojem a řídicím programem vede k vysoké přesnosti a optimalizaci rezného výkonu [6].

Typické oblasti použití [6]:

- stroje s podporou 5 os,
- funkce Advanced Surface a dynamický měnič umožňuje využití pro výrobu forem.

Mezi výhody patří [6]:

- automatické ladění servomechanismu tzv. funkce Auto Servo Tuning, která umožňuje optimalizaci pohonů při vysokých požadavcích na dynamiku a přesnost,
- bezpečnostní prvky zamezující pohyb mechanických prvků při otevřených dveřích nebo při manipulaci v pracovním prostoru,
- získávání informací o poloze díky zpětné vazbě,
- zpětná vazba zajišťuje vysokou přesnost a optimální kvalitu povrchu hotového obrobku.

1.1.2 SINUMERIK 828

Jedná se o kompaktní řídicí systém pro sériové koncepce strojů. Řídicí systém je určený pro standardizované soustružnické a frézovací stroje. Umožňuje také ovládání svislých a horizontálních obráběcích center s protivřeteny a poháněnými nástroji [7].

SINUMERIK 828D Basic M

Řídicí systém pro frézky určený pro vrtací a frézovací aplikace. Zadávaní programu je možné za pomoci G-kódu, programu GUIDE s podporou cyklů nebo pomocí ShopMill dílenského programování [8].

Typické oblasti použití [8]:

- moderní frézovací stroje.

Mezi výhody patří [8]:

- efektivní programování a obrábění velkých sériových dílů,
- vysoce efektivní řízení frézek umožňující provádění různých vrtacích a frézovacích operací,
- možnost ovládání až 5 os.

SINUMERIK 828D

Řídicí systém pro náročnější frézovací a soustružnické aplikace. Programování pomocí dílenského programování, za pomoci software ShopMill a ShopTurn. Tento způsob programování zkracuje časy při výrobě malých sérií nebo jednotlivých dílů. Systém také umožňuje programování podle ISO kódu [9].

Typické oblasti použití [9]:

- pro náročné frézování a soustružení.

Mezi výhody patří [9]:

- snadné programování,
- dobře strukturovaný nástroj pro správu,
- grafická vizualizační podpora pro vstup parametrů,
- přenos dat pomocí USB, CF karty, Ethernet na panelu.

1.1.3 SINUMERIK 840D sl

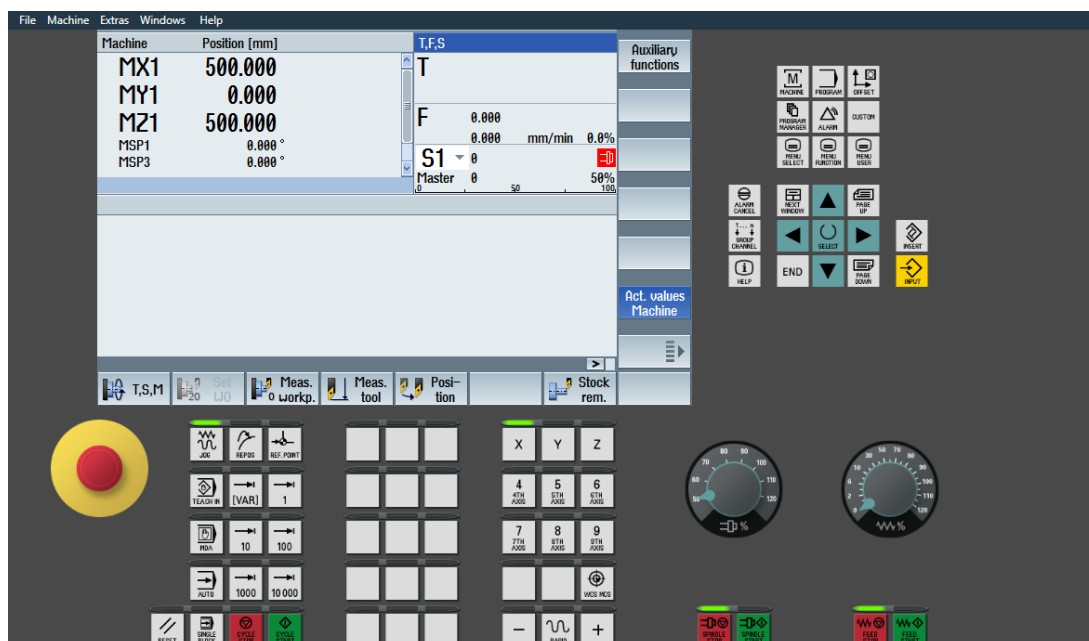
Jedná se o modernější verzi systému SINUMERIK 840D. Původní řídicí systém SINUMERIK 840D byl na trh uveden v roce 1994. V dubnu roku 2015 byla produkce verze 840D zrušena, ale jeho programové složky jsou používány ve verzi 840D sl [10]. Řídicí systém je určený pro modulární koncepci strojů. Systém je otevřený, flexibilní a nabízí vysokou modularitu. Integruje se do pohonných systémů Sinamics S120 s integrovaným modulárním frekvenčním měničem, který je navržen pro dynamické polohování a synchronizaci více os. Společně s integrovaným PLC systémem S7-300 je řídicí systém schopný realizovat rozmanité automatizační úlohy [11, 12]. Ukázka uživatelského rozhraní řídicího systému SINUMERIK 840D sl v software SinuTrain 4.7 (viz obr. 1.1) [11].

Vlastnosti [11]:

- řídicí systém je určený pro střední až komplexní úlohy,
- vyznačuje se vysokou efektivitou a flexibilitou,
- chrání obsluhu a stroj pomocí integrované bezpečnostní funkce.

Typické oblasti použití [11]:

- systém je určený pro stroje umožňující technologie frézování, vrtání, broušení, pro vysokorychlostní obrábění a obrábění forem,
- umožňuje řízení až 31 os.



Obr. 1.1 Ukázka uživatelského rozhraní řídicího systému SINUMERIK 840D sl v software SinuTrain 4.7.

1.2 FANUC

Jedná se o japonskou firmu, zabývající se automatizací průmyslu již od roku 1956. Firma poskytuje velmi široký výběr CNC systémů a veškerého příslušenství pro vysoce výkonné řídicí systémy komplexních strojů [13].

Řídicí systémy pro obráběcí stroje nabízené firmou Fanuc lze rozdělit na základní kompaktní model pro různé aplikace řízení, do kterého spadá Série 0i a modulární model Série 30i/31i/32i určený pro vysoce výkonné obráběcí stroje s více osami. Kombinace hardware a vyspělého software poskytuje vysoký výkon, přesnost a kvalitu povrchu [14]. Ukázka ovládacích panelů od firmy Fanuc, viz obr. 1.2.

Typické oblasti použití řídicích systémů Fanuc [14]:

- frézování, soustružení, broušení, děrování,
- řízení laserů.

Rozdělení řídicích systémů od firmy Fanuc podle sérií:

Kompaktní řada Série 0i [15]

- Řídicí systém s předdefinovanou konfigurací.
- Omezený, menší výběr SW opcí.
- Hardware je téměř totožný s verzí 3xi.
- Systém poskytuje stejnou spolehlivost jako jeho vyšší verze.

Modulární řada Série 3xi [15]

- Není zde předdefinovaná konfigurace, ale každý výrobce stroje si nadefinuje požadovanou výbavu stroje.
- Software lze nechat úplně vybavit, díky velkému množství SW opcí, nebo lze pořídit holý bez software.
- Jsou nutné správné specifikace při koupi systému, případná další úprava je nákladná.



Obr. 1.2 Ukázka ovládacích panelů s uživatelským rozhraním řídicího systému firmy FANUC [16].

Společnost Fanuc poskytuje velké množství druhů systémů řízení. Základním rozdělením je rozdělení na modulární a kompaktní série. V tabulce 1.1 jsou popsány charakteristické vlastnosti řídicích systémů spadajících do jednotlivých sérií.

Tab. 1.1 Přehled řídicích systémů a kontrolovaných prvků CNC stroje [16, 17].

Řídicí systém	Počet os	Současně interpolujících	Počet kanálů	Počet vřeten
0i-MF	9/11	4	1/2	-
0i-TF	9/12	4	1/2	-
0i-PF	7	4	1	-
30i-Model B	72/56	24	10-15	24/16
31i-Model B	26	4	6	8
31i-Model B5	26	5	6	8
32i-Model B	12	4	2	8
35i-Model B	16	4	4	4

1.3 HEIDENHAIN

Firma Heidenhain byla založena v roce 1889 Wilhelmem Heidenhainem jako dílna na leptání kovů, která vyráběla šablony, stupnice a měřítka. Během druhé světové války a krátce po ní byl výrobní program rozšířen o optické snímače polohy pro obráběcí stroje. Na počátku šedesátých let následoval přechod ke snímačům délek a úhlů s fotoelektrickým snímáním. Díky tomuto vývoji byla umožněna automatizace mnoha strojů a zařízení ve výrobním průmyslu. V 70. letech se Heidenhain stal významným výrobcem řízení a pohonů pro obráběcí stroje [18]. V současnosti firma vyrábí řídicí systémy s dialogovým programováním a poskytuje kompletní program absolutních a inkrementálních rotačních, lineárních a úhlových snímačů [19]. Ukázka ovládacího panelu od firmy Heidenhain, viz obr. 1.3.

Řídicí systémy Heidenhain jsou známé svým rozsáhlým výkonem a celkovým vybavením. Lze je přizpůsobit pro dané aplikace celou řadou volitelných opcí a prvků příslušenství. Opce jsou funkce, které jsou integrované do řídicího systému. Pomocí opcí lze dodatečně přizpůsobit rozsah funkcí skutečným požadavkům. Řídicí systémy jsou určeny pro frézky, soustruhy a obráběcí centra [20].



Obr. 1.3 Ukázka ovládacího panelu s uživatelským rozhraním řídicího systému firmy HEIDENHAIN [20].

Ukázka vybraných sérií CNC řízení od Heidenhain:

1.3.1 Série TNC 100

TNC 124 [21]

- Řídicí systém vhodný pro vrtací a frézovací stroje.
- Možnost řízení 3 os.
- Programování pomocí dílensky orientovaného programování.
- Možnost pozdější dodatečné indikace polohy čtvrté osy.

TNC 128 [22]

- Řídicí systém vhodný pro frézovací, vrtací a vyvrtávací stroje.
- Umožňuje pravouhlé řízení 3 os a včetně, plus možnost volby další řízené osy.
- Použití pro:
 - kusovou a malosériovou výrobu,
 - výrobu strojů,
 - stavbu prototypů a pilotních projektů,
 - opravárenské práce,
 - vybavení školních dílen.

1.3.2 Série TNC 300TNC 310 [23]

- Řídicí systém používaný na frézkách a vyvrtávacích strojích s maximálně 4 osami.
- Místo 4 osy lze nastavit úhlovou polohu včetně.
- Možnost zobrazení jednotlivých obráběcích kroků během zadávání programu.
- Možnost vytváření programu při současném obrábění obrobku.

TNC 320 [24]

- Řídicí systém pro souvislé řízení 4 os.
- Vhodné pro souvislé řízení frézovacích, vrtacích a vyvrtávacích strojů.
- Použití pro:
 - sériovou i kusovou výrobu,
 - výrobu nástrojů a forem,
 - produkci strojů, výzkum a vývoj,
 - výrobu prototypů a testování,
 - opravárenské dílny,
 - vzdělávací a školicí instituce.

1.3.3 Série TNC 500iTNC530 [25]

- Všestranný dílensky a konturově orientovaný řídicí systém.
- Řídicí systém vhodný pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a obráběcí centra.

- Umožňuje frézování s vysokou rychlostí, frézování v pěti osách s otočnou hlavou a rotačním stolem.
- Umožňuje obrábění v 5 osách na velkých strojích, například na karuselech.
- Možnost implementace u obráběcích center pro zajištění automatizovaného obrábění.

1.3.4 Série TNC 600

TNC 620 [26]

- Řídicí systém vhodný pro frézky, vyvrtávačky a obráběcí centra.
- Možnost řízení až 5 os.
- Použití:
 - v kusové a sériové výrobě,
 - ve výrobě nástrojů,
 - v obecném strojírenství,
 - ve výzkumu a vývoji,
 - ve výrobě prototypů a ve zkušebnách,
 - v opravách,
 - v odborných školách a učilištích.

TNC 640 [27]

- Řídicí systém vhodný pro použití při frézovacích operacích a kombinaci frézovacích a soustružnických operací.
- Možnost použití pro HSC.
- Konturu soustružené součásti lze naprogramovat pomocí prostého programovacího jazyka s možností využití technologických cyklů pro soustružení (zápich, závit, výběh).
- Jedná se o univerzální systém a používá se pro:
 - univerzální frézky,
 - kombinované stroje frézování – soustružení,
 - vysokorychlostní obrábění, frézování s vysokou rychlostí, frézování v pěti osách s otočnou hlavou a rotačním stolem,
 - obráběcí centra a obráběcí automaty.

2 METODY NC PROGRAMOVÁNÍ

Při programování CNC obráběcích strojů lze použít rozdílné metody NC programování. Tato kapitola obsahuje informace o základních metodách programování.

2.1 ISO programování

Tvorba programu podle ISO kódu je nejstarší a nejznámější metodou NC programování. Základem programování podle ISO jsou programové bloky, které se zapisují v textovém editoru. Nemusí být zapisovány pouze ručně, ale lze využít grafické nadstavby řídicího systému umožňujícího tvorbu cyklů [28]. Každý blok zapsaný v textovém editoru popisuje jednotlivé operace potřebné k opracování součásti. Blok se skládá z příkazů (funkcí) ve formě slov. Jednotlivá slova se dělí na adresnou část a na část významovou obsahující: číslo, plus, minus, desetinnou čárku [29]. Funkce zapsané v bloku NC programu umožňují ovládání pohybu řezného nástroje, nastavení otáček vřetena, nastavení řezné rychlosti a výměnu nástrojů. Program tedy nese informace o řezných podmínkách a také informace o obrobku a jeho požadovaných rozměrech. Požadovaného tvaru součásti se dosáhne postupným zpracováním jednotlivých řádků NC programu. NC program se na stroji převádí na impulzy elektrického proudu nebo jiné výstupní signály, jejichž účelem je spuštění servomotorů a další zařízení nutných pro provoz stroje [29, 30].

2.1.1 Struktura NC programu

Program se skládá z bloků složených z jednotlivých slov obsahujících adresnou a rozměrovou část [29]. V níže uvedených tabulkách 2.1 a 2.2 jsou uvedené ukázky složení bloku NC programu a význam nejpoužívanějších adres.

Tab. 2.1 Ukázka složení bloku NC programu [1].

N10 G90 X20 Z-5				Blok
N10	G90	X20	Z-5	Slova
N	G	X	Z	Adresná část
10	90	20	-5	Významová/rozměrová část

Tab. 2.2 Nejpoužívanější adresy a jejich význam [1].

Písmeno	Význam
X, Y, Z	Pohyb v základních osách souřadného systému. Nesou informaci o souřadnici cílového bodu absolutně nebo přírůstkově.
A, B, C	Rotace okolo základních os.
I, J, K	Parametry kruhové interpolace.
T	Volba nástroje.
D	Nastavení korekce nástroje.

G	Funkce zpracovávající geometrické informace.
M	Pomocná funkce, která vyvolává činnost mechanismu stroje.
N	Číslo bloku, které se obvykle zadává v desítkách pro možné dodatečné vložení bloku při opravě programu.
F	Velikost posuvu v mm.
S	Vyjádření velikosti otáček vřetene v min^{-1} .
L	Volání podprogramu.

2.1.2 Cykly

Pojmem cykly jsou označovány všeobecně použitelné technologické podprogramy, které jsou součástí hlavního programu při programování podle ISO. Dané cykly umožňují provedení specifických obráběcích procesů, sloužících ke zprehlednění a zjednodušení NC programování. Jednotlivé příkazy určené cyklem se zadávají pomocí parametrů v grafickém režimu. Každý výrobce řídicích systémů si přizpůsobuje své cykly podle svých požadavků [31].

Dále se zaměříme na ukázkou cyklů řídicího systému SINUMERIK 840D. Tento systém poskytuje různé varianty cyklů pro vrtání, frézování a soustružení. V tabulce 2.3 jsou ukázky různých druhů cyklů pro RS SINUMERIK 840D používaných pro soustružení.

Tab. 2.3 Názvy a funkce soustružnických cyklů řídicího systému SINUMERIK 840D [31, 32].

Označení cyklu	Funkce
CYCLE 93	Cyklus pro tvorbu vnitřních i vnějších zápichů a drážek.
CYCLE 94	Cyklus pro tvorbu normalizovaných odlehčovacích zápichů dle normy DIN 509.
CYCLE 95	Cyklus pro oddělování třísky dle definované kontury s definováním přídavků pro hrubování, dokončování, kompletní opracování.
CYCLE 96	Cyklus pro obrábění zápichu závitů.
CYCLE 97	Cyklus pro soustružení vnitřních a vnějších závitů.
CYCLE 98	Cyklus pro řetězení závitů.
CYCLE 950	Modifikovaný rozšířený cyklus.

2.2 Dílensky orientované programování

Dílensky orientované programování vychází z programování podle ISO, jedná se o propracovanější podobu s podporou cyklů [31]. Umožňuje tvorbu jednotlivých programových řádků přímo na panelu obráběcího stroje [30]. Dílenské programování umožňuje pracovníkům bez hlubších znalostí programování efektivně naprogramovat obrábění daných součástí podle technického výkresu [29]. Jedná se o poměrně jednoduché programy, které používají cykly a programování podle ISO s přednastavenými rutinními činnostmi. Vytvořený program se kontroluje po jednotlivých blocích s využitím grafické podpory. Program lze vytvořit v průběhu provozu stroje, při výrobě, kdy zde pracovník koná pouze pasivní dozor [1].

Řídicí systém SINUMERIK 840D poskytuje pro dílenské programování dva programovací nástroje. Prvním je ShopMill, což je programovací nástroj pro technologii frézování a druhým je ShopTurn, který se používá v technologii soustružení. Jedná se o nástroje, ve kterých lze pomocí dialogových oken vytvořit technologický program pro výrobu obrobku [33].






2.2.1 ShopTurn

Programové vybavení pro obsluhu a programování soustruhů. Ke zpracování programu dochází na obrazovce umožňující trojrozměrné zobrazení, díky kterému lze kontrolovat průběh obrábění a jeho výsledek. Program se sestaví v přehledném pracovním plánu (viz obr. 2.1) a jednotlivé konturové prvky a cykly se zobrazují na grafickém panelu. Není zde požadovaná znalost G-kódu. Struktura programu se skládá z technologických kroků, mezi které patří: hlavička programu, programové bloky a konec programu [34].

Hlavička programu – obsahuje parametry platné pro celý program, jako např. rozměry polotovaru, návratové roviny, bod výměn nástrojů, omezení maximálních otáček a další [34].

Programové bloky – slouží k definici jednotlivých obráběcích kroků. Programátor zadává jednotlivé technologické kroky, informace o požadovaném tvaru součástky a parametry obrábění [34].

Konec programu – dává stroji informace o ukončení programu [34].

P	Hlavička programu	G54 Uálec	
	Kontura	KONTURA	
	Oddělování třísky	▽	T=HRUBOUACINUZ1 F=0.4/ot. U=200m podélné
	Oddělování třísky	▽▽▽	T=HRUBOUACINUZ1 F=0.15/ot. U=200m podélné
	Středové vrtání		T=URTA25 F=0.06/min U=180m Z1=-89
END	Konec programu		

Obr. 2.1 Struktura programu.

2.2.2 ShopMill

ShopMill je programové vybavení pro programování a obsluhu frézek. Při sestavování programu lze využít některou ze tří různých variant programování [35]:

- programování v G-kódu pro použití při výrobě forem, formy jsou přebírány ze systému CAD/CAM,
- programování v G-kódu s využitím technologických cyklů přímo na stroji, možnost využití všech technologických cyklů,
- programování pomocí technologických kroků přímo na stroji, při tvorbě pracovního plánu lze využít grafické podpory, která poskytuje náhled na jednotlivé cykly a konturová prvky v dynamické grafice.

Program je zpracováván v trojrozměrné grafice, na které lze snadno kontrolovat průběh a výsledek obráběcího procesu [35].

2.3 CAD/CAM programování

CAD/CAM je technologie, která umožňuje vytváření různých strategií snižujících čas výroby, zaručující kvalitu a vysoké využití možností moderních strojů a nástrojů při obrábění. Jedná se o vyšší stupeň pro zhotovení CNC programů [1].

Pojem CAD/CAM

CAD (Computer Aided Design) – počítačová podpora programování: Jedná se o navrhování a konstruování na počítači. Vytvoří se návrh obrobku ve formě výkresu nebo modelu, který se doplní kusovníkem [1].

CAM (Computer Aided Manufacturing) – počítačová podpora výroby. Programátor převezme digitalizovaný model a výkres. Stanoví pracovní postup pro dosažení maximální efektivity. Ze systému CAM vystupují data ve formátu ATP nebo CL [1].

Postprocesor – poslední část CAD/CAM technologie, kde dochází k přeložení dat z CAM do G a M kódu pro příslušný řídicí systém daného stroje, na kterém bude probíhat výroba [1].

Postup použití software CAD/CAM

1. Vytvoření výkresu nebo modelu. V dnešní době se upřednostňují modely 3D. Před prací v CAM je vhodné výkres nebo model zjednodušit odstraněním kót a tvarů, které nejsou potřebné pro programování [1].
2. Model nebo výkres se přenesou do formátu CAM. Zde se rozhodne o způsobu výroby. Určí se operační úseky a způsob opracování. Následně dojde k ověření výsledku na simulátoru, zkontroluje se průběh drah nástrojů a geometrie obrobku [1].
3. Po úspěšném odzkoušení se program a údaje nutné pro seřízení předají na CNC stroj [1].
4. Po předání na CNC stroj probíhá odladění programu na prvním kusu. Zkontrolují se a případně se upraví řezné podmínky [1].

2.4 Synchronní akce

Jedná se o programování s využitím synchronních akcí, které umožňují spuštění různých příkazů z výrobního programu a synchronně je vůči němu zpracovávat. Spuštění synchronní akce je definováno podmínkami, které jsou vyhodnocovány v reálném čase. Jedná se tedy o akce reagující na událost v reálném čase. Obecná struktura synchronní akce se skládá z identifikačního čísla, klíčového slova, podmínky, spouštěče akce při splnění podmínky a akce spuštěné po splnění podmínky [36].

Klíčová slova [36]:

- Žádné klíčové slovo – V případě, že není naprogramované žádné klíčové slovo, podmínka vždy platí jako splněná.
- WHEN – Podmínka je kontrolována tak dlouho, dokud není splněna. Následná akce se vykoná jednou.
- WHENEVER – Jedná se o cyklickou kontrolu podmínky, k provedení příslušné akce dojde pokaždé, když dojde ke splnění podmínky.
- FROM – Jakmile dojde ke splnění podmínky, bude podmínka prováděna až do doby, dokud bude synchronní akce aktivní.
- EVERY – Akce se spustí jednou při splnění podmínky. Následně bude opakována pokaždé, kdy dojde ke změně stavu FALSE do stavu TRUE. Při každém splnění podmínky se akce uskuteční jedenkrát.

Podmínkou může být porovnání proměnných v reálném čase, výpočet výrazů v reálném čase, měření hodnot a výsledky měření, rychlost a stav os. Při splnění podmínky následuje akce. Akce, které mohou být provedené jsou např. přiřazení proměnné, zápis do nastavovaného parametru, nastavení řídicího parametru, korekce posuvu, spouštění, polohování a zastavení os nebo vřeten [36].

Př. Synchronní akce [37]:

„ID=1 EVERY \$AA_IM[B]>75 DO POS[U]=IC(10) FA[U]=90“

Význam: „Vždy když je překročena skutečná hodnota osy B v MSC rovnající se 75, má se osa U nastavit axiálním posuvem dál o 10.“

3 MATERIÁLY PRO VÝROBU SOUČÁSTI NÁBOJ KOLA OSOBNÍHO AUTOMOBILU

Přesné označení materiálu, ze kterého se součást náboje kola vyrábí, nebylo možné (s ohledem na obchodní tajemství) od výrobců získat. Z toho důvodu byly pro zjištění materiálu, jeho struktury a chemického složení provedeny dvě analýzy:

- analýza chemického složení,
- analýza mikrostruktury.

Analýza chemického složení byla provedena na přístroji Q4 TASMAN. Jedná se o spektrometr pro analýzu kovů. Vzorek pro analýzu byl vyříznut ze součásti dostupné na trhu, jejíž charakteristika, jak materiálová, tak i tvarová je podobná s nábojem, jehož technologie výroby je zpracovaná v následujících kapitolách této práce. Z analýzy na přístroji Q4 TASMAN byl získán protokol měření s informacemi o chemickém složení (příloha 1, tab. 3.1). Prvky obsažené v daném materiálu a jejich množství byly porovnány s materiálovými listy. Informace o označení materiálu vzorku byly získány porovnáním hodnot získaných z měření a hodnot uvedených v materiálových listech (viz tab. 3.1 a tab. 3.2). Materiálem, který nejvíce odpovídal svým složením je konstrukční ocel ČSN 12 060 (ekvivalent dle evropských norem je 1.0535, či C55 dle značení na základě chemického složení). Jedná se o uhlíkovou ocel k zušlechťování [38]. Z chemického složení lze říci, že se jedná o podeutektoidní ocel.

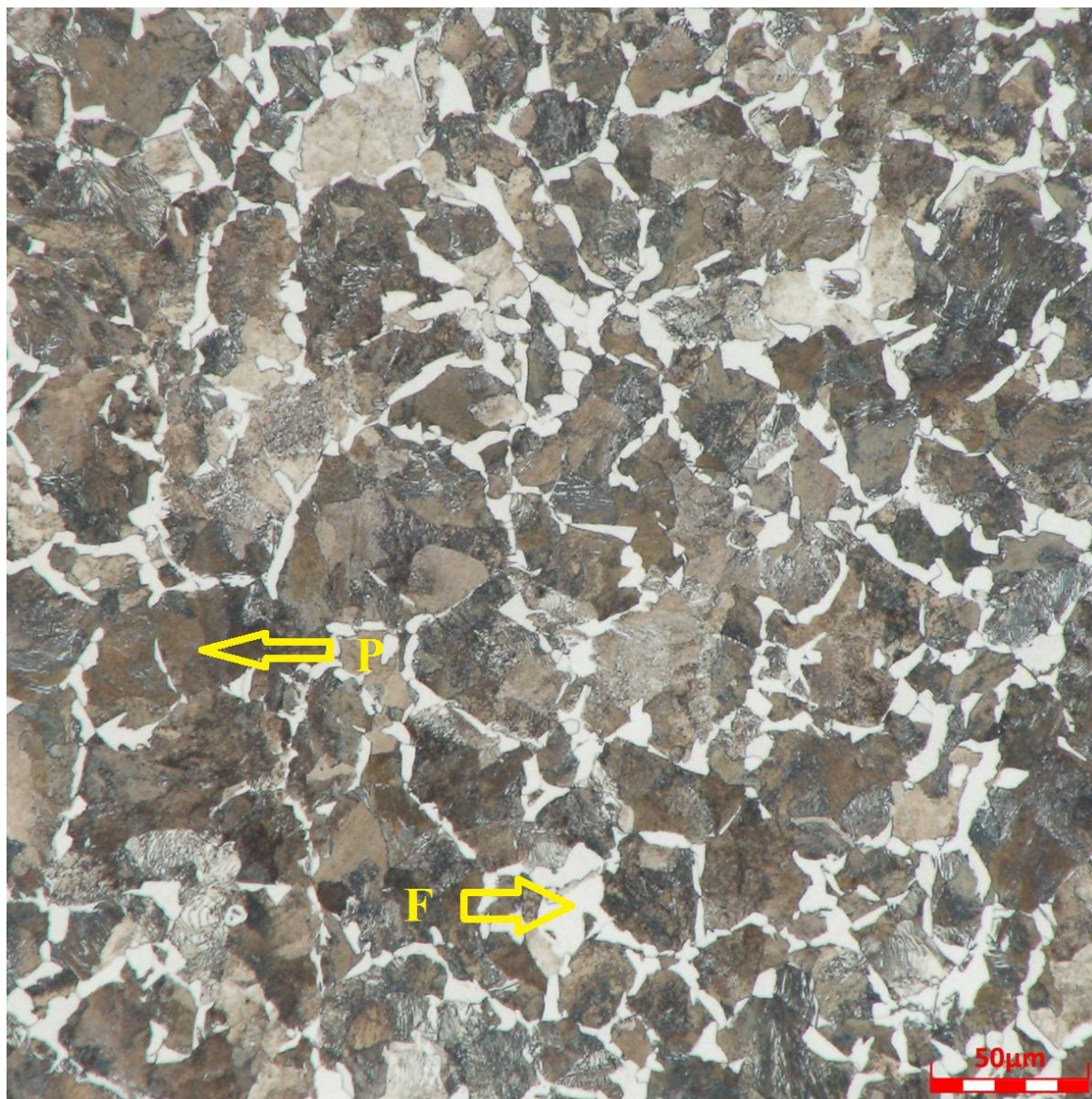
Tab. 3.1 Hodnoty získané analýzy chemického složení [39].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	As
[hm. %]									
0,583	0,291	0,788	0,0033	0,0039	0,121	0,027	0,106	0,185	0,0084
Al	Al-sol	B	Bi	Ca	Ce	Co	N	Nb	Pb
[hm. %]									
0,033	0,029	<0,0002	<0,007	<0,0005	0,0031	0,0085	0,012	0,0028	<0,003
Sb	Sn	Ta	La	Ti	V	W	Zr	Fe	
[hm. %]									
<0,005	0,017	<0,03	0,0022	0,0016	0,00086	0,0069	<0,001	97,75	

Tab. 3.2 Chemické složení oceli 12 060 [38].

Chemické složení dle normy [hm. %]							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,52–0,60	0,5–0,8	0,15–0,40	max. 0,25	max. 0,3	max. 0,3	max. 0,04	max. 0,04

Analýzou mikrostruktury vzorku byly získány bližší informace o stavu materiálu (jeho tepelném zpracování). Z obrázků (viz příloha 2) lze konstatovat, že mikrostruktura vzorku odpovídá oceli ČSN 12 060 v tepelně nezpracovaném stavu. Mikrostruktura je tvořena zrný perlitu a feritu. Zrna feritu jsou rozložena po hranicích zrn perlitu. Jedná se o poměrně homogenní strukturu materiálu s velikostí zrna perlitu přibližně 50 μm , viz obr. 3.1 [40].



Obr. 3.1 Mikrostruktura se zvětšením 800 x [40].

Analýzovaný vzorek neprošel žádným tepelným zpracováním, bylo by (i s ohledem na použití oceli k zušlechťování tř. 12) pro zlepšení vlastností a homogenizaci struktury vhodné použít alespoň normalizační žhání [40]. Účelem normalizačního žhání je vytvoření jemné a rovnoměrné struktury. Zmenšením velikosti zrn a jejich zrovnoměrněním dojde ke zvýšení mechanických vlastností, jako jsou mez kluzu a mez pevnosti. Teplota pro normalizační žhání u oceli 12 060 je 810 $^{\circ}\text{C}$ až 850 $^{\circ}\text{C}$, následuje výdrž na dané teplotě, zrna feritu a perlitu se přemění na homogenní austenit.

Při následném pomalém ochlazení na vzduchu získáme jemnější a rovnoměrnější strukturu. Výslednou strukturou u podeutektoidních ocelí je struktura feriticko-perlitická. Dalším způsobem tepelného zpracování, které lze provést, je zušlechťování. Nejprve se součást zakalí na teplotu 810 °C až 840 °C, následně se ochladí v oleji, aby se zamezilo praskání. Následuje popouštění, které probíhá v rozmezí teplot 540-680 °C s ochlazením na vzduchu. Povrchová tvrdost po povrchovém kalení dosahuje u součásti s průměrem vyšším než 100 mm 57 ± 3 HRC [41]. Tabulka 3.3 obsahuje hodnoty mechanických vlastností po tepelném zpracování, hodnoty byly získané z materiálových listů [38].

Tab. 3.3 Hodnoty mechanických vlastností při jednotlivých způsobech tepelného zpracování [38].

Stav tepelného zpracování	Normalizační žíhání (.1)	Zušlechtění na dolní pevnost (.6)	Zušlechtění na střední pevnost (.7)
Mez kluzu Re nebo Rp0,2 [MPa]	345	410	480
Mez pevnosti Rm [MPa]	min. 600	680–830	750–900
Tvrdost HB	171–253	203–253	214–274
Odolnost proti únavě při střídavém napětí [MPa]			
V ohybu	315	350	390
V tahu – tlaku	245	275	305
V krutu	180	200	225

Použitelné materiály jako náhrada stávajícího

Při volbě materiálu strojních součástí jsou prvotním požadavkem pevnostní charakteristiky. U téměř každé strojní součásti je požadováno splnění více materiálových vlastností. Ve většině případů se jedná o kombinaci jednotlivých vlastností. Požadované vlastnosti mohou být např. pevnostní charakteristiky, houževnatost, odolnost proti cyklickému namáhání, teplotní odolnost, opotřebení, odolnost proti korozi atd. Při volbě materiálu je důležité uvažovat s technologií výroby dané součásti, s výrobními náklady a dostupností požadovaného polotovaru na trhu [42].

Součástka, pro kterou je navrhován alternativní materiál, se nazývá náboj kola osobního automobilu. Jedná se o součástku sloužící k přenosu momentů a sil působících mezi kolem automobilu a jeho rámem. Důležitým prvkem součástky je evolventní drážkování, které přenáší hnací sílu mezi motorem a kolem. Vzhledem k drážkování a přenášenému momentu jsou požadované také vlastnosti týkající se odolnosti boků zubů drážkování vůči opotřebení a zadírání, dále je požadována vysoká pevnost v dotyku. Většina z následujících materiálů, které by mohly nahradit stávající materiál, se řadí k materiálům na výrobu ozubených kol a jsou vhodné k chemicko-tepelnému nebo tepelnému zpracování. Ozubená kola se podle tvrdosti povrchu zubů dělí na kola s tvrdostí HB ≤ 350 a kola s tvrdostí HB > 350 [43].

Kola s tvrdostí HB ≤ 350

Ozubená kola využívaná k přenosu klidného zatížení s malou nebo střední velikostí točivého momentu. Mezi tyto materiály se řadí oceli třídy 11, a to oceli 11 500, 11 600,

11 700 a nelegované ušlechtilé uhlíkové oceli 12 050 a 12 060. Jedná se o oceli, u kterých se profil ozubení vyrábí až po tepelném zpracování. Přesnost a rozměry zubů tedy nejsou nijak deformovány následným tepelným zpracováním a výrobní přesnost je konečná. Kola z těchto materiálů jsou levná na výrobu a jsou odolná vůči křehkému lomu. Tepelným zpracováním, které předchází výrobnímu procesu ozubení je normalizační žíhání. Normalizační žíhání zvýší mechanické vlastnosti a zlepší obrobitelnost materiálu. U ocelí 12 050, 12 060 a 13 240 lze kromě normalizačního žíhání použít pro získání vyšší pevnosti a tvrdosti zubů zušlechťování [43]. Chemické složení ocelí 11 600, 12 060, 13 240 a jejich mechanické vlastnosti popisují tabulky 3.4 až 3.7.

Ocel 11 600

„Jedná se o ocel obvyklých jakostí s vyšším obsahem uhlíku. Ocel vhodná na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky. Pro součást vystavené velkému měrnému tlaku. Jedná se o materiál používaný pro výrobu součástí jako hřídele, osy, ozubená kola, řetězová kola, spojky [44].“

Tab. 3.4 Chemické složení oceli [44].

Chemické složení [hm. %]		
P	S	N
max. 0,045	max. 0,04	max. 0,09

Ocel 12 050

„Uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení. Vhodná na hřídele těžebních strojů, na větší ozubená kola, šneky, ojnice, vahadla, lamely spojek [45].“

Tab. 3.5 Chemické složení oceli [45].

Chemické složení [hm. %]							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,42–0,50	0,5–0,8	0,17–0,37	max. 0,25	max. 0,3	max. 0,3	max. 0,04	max. 0,04

Ocel 13 240

„Jedná se o Mn - Si ocel k ušlechťování. Vhodná na středně namáhané strojní součásti a části silničních motorových vozidel zvláště odolné proti opotřebení. Jedná se o části např. hřídele, nápravy, čepy kol, ojnice, páky[46].“

Tab. 3.6 Chemické složení oceli [46].

Chemické složení [hm. %]				
C	Mn	Si	P	S
0,33–0,41	1,1–1,4	0,15–0,40	max. 0,035	max. 0,035

Tab. 3.7 Mechanické vlastnosti materiálů s $HB \leq 350$ [44, 45, 46].

	11 600.0	12 050.1	13 240.6
Mez kluzu R_e nebo $R_{p0,2}$ [MPa]	275	305	540
Mez pevnosti R_m [MPa]	550–10	min. 540	780–930
Tvrдость HB	180–210	197–225	239–285
Odolnost proti únavě při střídavém napětí [MPa]			
V ohybu	-	305	420
V tahu – tlaku	-	240	335
V krutu	-	170	250

Ozubená kola s $HB > 350$

Ozubená kola, která slouží k přenosu klidných i proměnlivých zatížení při působení vysokých točivých momentů. Správnou volbou konstrukčního materiálu a tepelného zpracování lze dosahovat hodnot povrchové tvrdosti a pevnosti jádra zubu v hodnotách $HB = 350$ až 650 . Jedná se především o kalení, nitridování nebo cementování. Tepelné zpracování se provádí až po výrobě ozubených kol a to vede ke vzniku deformací, změně rozměrů a tvarů zubů. Aby bylo možné opětovně dosáhnout požadovaných rozměrů a přesností, musí být do výrobního procesu po tepelném zpracování zahrnuta dokončovací operace, jedná se o operaci broušení, lapování, nebo ševingování [43].

Možnosti tepelného a chemicko-tepelného zpracování ozubených kol [43]:

- 1) povrchové kalení,
- 2) cementování,
- 3) nitridování.

Povrchové kalení [43]

- Proces tepelného zpracování, při kterém získáme tvrdý, otěruvzdorný povrch zubů a zachováme tak měkké a houževnaté jádro.
- Dochází k vytvrzení povrchové oblasti zubů, tvrdost se pohybuje v rozmezí 45 až 55 HRC.
- Při kalení dochází k deformaci, po procesu kalení musí být zařazena dokončovací operace.
- Materiály vhodné pro povrchové kalení jsou vhodné nelegované i legované ušlechtilé oceli, např. 12 060, 13 240, 14 140, 15 241.

Cementování [43]

- Proces chemicko-tepelného zpracování (sycení povrchu uhlíkem).
- Velmi náročný proces, jak finančně, tak i časově.
- Používaný pro velmi namáhaná kola.
- Získávají se hodnoty tvrdosti 60 až 63 HRC.
- Při cementování dochází k deformaci a musí být zařazena dokončovací operace.
- Oceli určené k cementování jsou nelegované oceli a legované oceli s malým obsahem uhlíku, např. 14 220, 15 124, 16 220.

Nitridování [43]

- Proces chemicko-tepelného zpracování (sycení povrchu dusíkem).
- Použití především pro kola s vnitřním ozubením.
- Získávají se hodnoty tvrdosti 60 až 65 HRC.
- Nitridování je finančně náročný proces, ale nedochází zde k deformaci věnce a nevyžadují se dokončovací operace.
- Před nitridováním se kola normalizují nebo zušlechťují.
- Materiály určené k nitridování, např. 15 230.

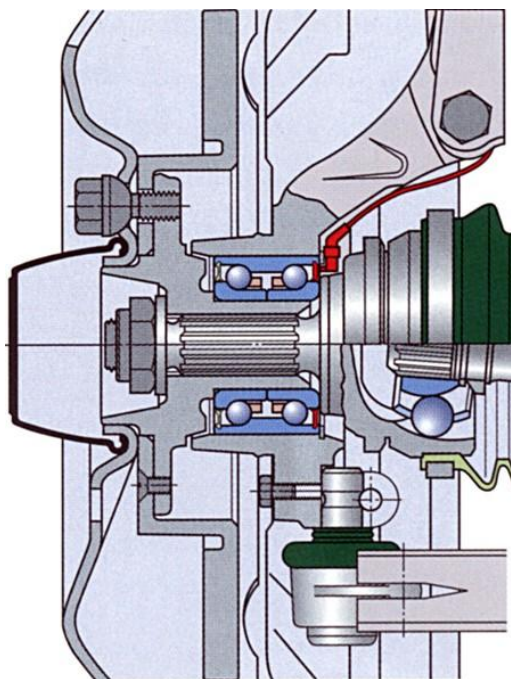
4 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Zvolenou součástkou je náboj předního kola osobního automobilu. Součástka, jejíž technická dokumentace je zpracovávána v této kapitole, je materiálově a tvarově podobná s výrobkem dostupným na trhu, nikoli totožná s dostupným výrobkem. Zvolená součástka patří do sestavy, kterou můžeme nazvat náprava. Náprava se skládá z několika funkčních celků, které jsou: zavěšení kola, uložení kola, odpružení kola, brzda, řídicí nebo hnací ústrojí. Zavěšení kol je způsob připojení, kterým jsou kola upevněna k rámu automobilu nebo k jeho karoserii [47].

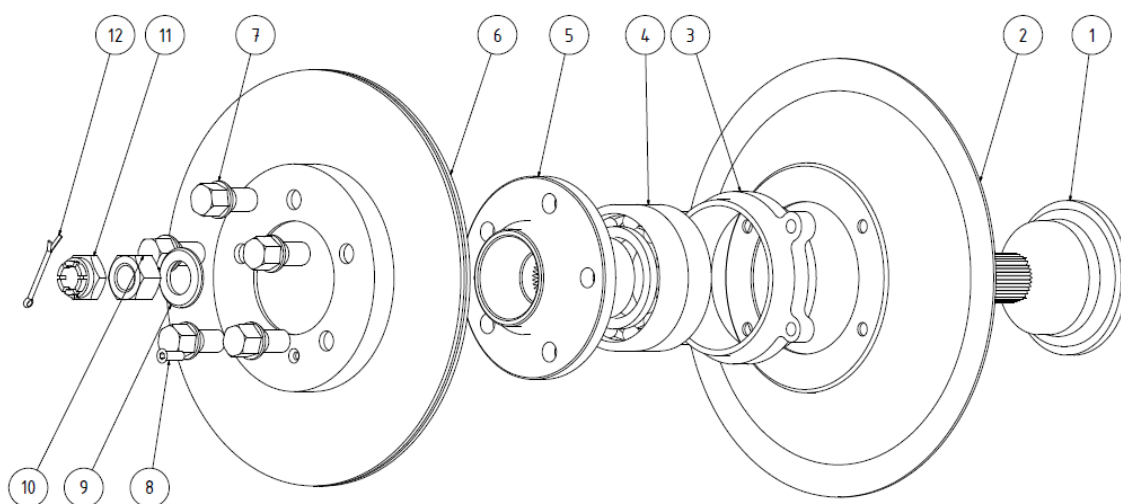
Zavěšení kol plní poměrně velké množství funkcí, jako jsou:

- vedení kola, umožnění pohyb kola vzhledem ke karoserii nebo rámu automobilu ve svislém směru [47],
- nežádoucí pohyby kola, jako jsou boční posuv a naklápění kola eliminuje na přijatelnou hodnotu [47],
- slouží k přenosu sil a momentů mezi rámem nebo karoserií a mezi kolem [47],
- přenáší svislé síly způsobené zatížením vozidla, podélné síly od hnacího nebo brzdného momentu a příčné (odstředivé) síly [47],
- zajišťuje neustálý trvalý kontakt všech kol s povrchem vozovky [48],
- umožňuje řízení, brzdění [48],
- slouží k přenosu hnací síly od motoru na kola [48],
- zajišťuje pohodlí jízdy [48].

Náboj kola osobního automobilu slouží k přenosu točivého momentu z hnací hřídele na kolo. Hnací hřídel připojuje hnací ústrojí, tedy motor auta k dalším součástem. Jedná se o součásti, které nemohou být přímo napojeny [49]. Hnací hřídel přenáší točivý moment z motoru na náboj pomocí evolventního drážkování, které je jak na hnací hřídeli, tak i na náboji. Drážkování hřídele se zasune do drážkování náboje a z druhé strany se pojistí šroubovým spojením. Na vnitřní straně náboje je nalisované ložisko s děleným vnitřním kroužkem, jedná se o uložení ložiskovou jednotkou 1. generace (viz obr 4.1). Díky dělenému vnitřnímu kroužku má ložisko vyšší únosnost [47]. Ložisko je nalisováno na náboji a připevněno k nápravě pomocí držáku uložení. Mezi ložiskem a hnací hřídelí je vložen kryt brzdového kotouče. Z vnější strany se na náboj nasadí brzdový kotouč a jeho poloha se zajistí pomocí šroubu M6 x 1. Na závěr se nasadí disk kola osobního automobilu, který dosedá na válcovou plochu náboje a je doražený ke kotoučové brzdě. Disk a kotoučová brzda se připevní k náboji kola pěti šrouby M14 x 1,5. Na obrázku 4.1 a 4.2 je zobrazena sestava uložení první generace a uložení náboje kola a ostatních komponent.



Obr. 4.1 Uložení první generace [50].



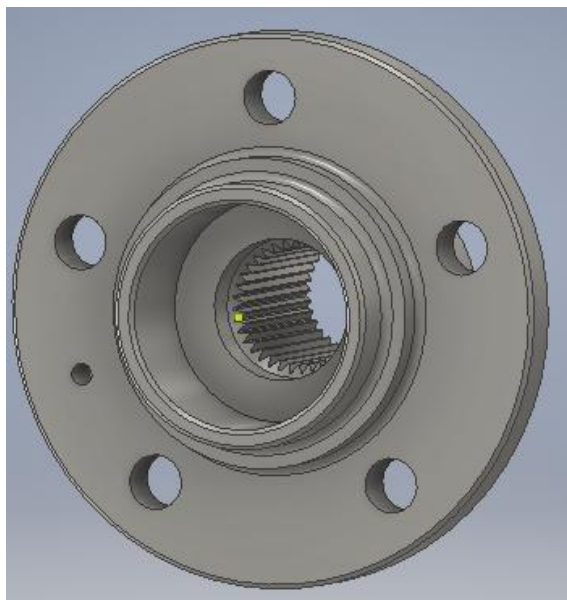
Obr. 4.2 Sestava uložení náboje kola a ostatních komponent, vytvořeno v Autodesk Inventor Professional 2016.

Tab. 4.1 Pozice na obr. 4.2 a jejich názvy.

Pozice	Název součásti	Pozice	Název součásti	Pozice	Název součásti
1	Hnací hřídel	5	Náboj	9	Podložka
2	Kryt kotouče	6	Brzdový kotouč	10	Matice M18x2,5
3	Držák uložení/ těhlice	7	Šrouby M14x1,5	11	Matice M18x2,5
4	Ložisko	8	Šroub M6x1	12	Závlačka

4.1 Tvar součásti

Jedná se o rotační součást sloužící k upevnění kola osobního automobilu a k přenosu točivého momentu z hnacího ústrojí ke kolu. Na obrázku 4.3 je součást zobrazena v pohledu na její pravou i levou stranu.



a) Levá strana



b) Pravá strana

Obr. 4.3 Model součásti vytvořený v Autodesk Inventor Professional 2016.

Důležité rozměry součásti (viz výkres příloha 9):

- Roztečná kružnice $\varnothing 96$ mm. Na roztečné kružnici je umístěno 5 děr se závity o velikosti M14. Tyto díry se závity jsou určeny k upevnění příruby disku kola k náboji. Spojení příruby disku kola a náboje se provádí pomocí šroubů, tyto šrouby nejsou namáhány na ohyb, ale pouze na tah [51]. Jedná se o šrouby s kuželovou hlavou, v tomto případě o šrouby M14 x 1,5. Na roztečné kružnici také leží otvor se závitem M6 x 1 určený pro spojení brzdového kotouče s nábojem a jeho zajištění proti pootočení vůči náboji.
- $\varnothing 70$ h7 slouží k nasazení brzdového kotouče na náboj. Brzdový kotouč se nasadí na daný průměr, dorazí se na dosedací plochu s definovanou geometrickou tolerancí čelního házení. Poté se zajistí proti pohybu šroubem M6 x 1. Je důležité, aby byl kotouč upevněn s co nejmenší házivostí, aby nedocházelo k vibracím, nerovnoměrnému opotřebení brzdového kotouče případně zablokování kola [52].
- $\varnothing 60$ h7 je důležitý pro vycentrování disku na náboji kola. Na tento průměr se nasazuje disk kola. Je nutné, aby zde byly splněné předepsané geometrické tolerance házení.
- $\varnothing 50$ p6, průměr určený k nalisování ložiska. Jedná se o uložení s přesahem H7/p6. Součásti smontované tlakem a následně demontované nevykazují téměř žádné deformace [53]. Zvoleným ložiskem je dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem 3310 A od firmy SKF (viz příloha 3) [54]. Uložení odpovídá předepsaným uloženíům výrobce SKF [55]. Drsnost povrchu hřídele pro nasazení ložiska zvolená

v toleranční třídě IT6 na Ra 0,8 μm . Drsnost povrchu byla zvolená dle tabulek doporučených přesností průměru hřídelů, děr a doporučených maximálních hodnot drsnosti úložných ploch dle norem ČSN ISO 492 A ČSN 02 4620 [56]. Zvolená drsnost také odpovídá doporučené drsnosti povrchu úložných ploch dle firmy SKF, od které bylo zvoleno ložisko a parametry daného povrchu součásti [57].

- Evolventní drážkování slouží ke spojení hnací hřídele a náboje a pro přenos točivého momentu. Jedná se o evolventní drážkování dle ČSN 01 4950. Velikost drážkování je 30, modul drážkování $m = 0,8$ a počet zubů $z = 34$. ostatní parametry drážkování dle zvolené normy jsou vypsány v tabulce na výkrese (viz příloha 9) [58].

4.2 Materiál

Zvoleným materiálem pro danou součást náboj kola osobního automobilu je konstrukční ocel ČSN 12 060. Ekvivalent dle evropských norem je 1. 0535 a označení dle DIN je C55. Jedná se o uhlíkovou ocel k zušlechťování. Daný materiál je využíván k výrobě hřídelů turbokompresorů, ozubených kol, vřeten, čepů, spojek a pro různé spojovací části [38]. Chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu jsou v tabulkách 4.2, 4.3 a 4.4.

Tab. 4.2 Chemické složení oceli [38].

Chemické složení [hm. %]							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,52 – 0,60	0,5 – 0,8	0,15 – 0,40	max. 0,25	max. 0,3	max. 0,3	max. 0,04	max. 0,04

Tab. 4.3 Mechanické vlastnosti ve stavu po normalizačním žití [38].

Mez kluzu R_e nebo $R_{p0,2}$ min	345	MPa
Mez pevnosti R_m	min 600	MPa
Tažnost A_5 podél min	13	%

Tab. 4.4 Mez únavy při střídavém napětí při R_m 690 MPa [38].

V ohybu	315	MPa
V tahu - tlaku	245	MPa
V krutu	180	MPa

4.3 Volba polotovaru

Jedná se o rotační součást, zvoleným polotovarem je tyčový materiál. Přídavek na délku volíme 4 mm.

Stanovení celkového přídavku

Celkový přídavek můžeme stanovit dle empirického vztahu 4.1 [59]:

$$Z_{\emptyset} = \frac{5 \cdot d}{100} + 2 \quad (4.1)$$

Následný průměr polotovaru se stanoví součtem hodnoty celkového přídavku a velikosti největšího průměru součásti, vztah 4.2:

$$d_{\text{polot}} = d + Z_{\emptyset} \quad (4.2)$$

Kde: Z_{\emptyset} – přídavek na průměr [mm],
 d – průměr hotového obrobku [mm],
 d_{polot} – průměr polotovaru [mm].

Výpočet polotovaru:

$$Z_{\emptyset} = \frac{5 \cdot 125}{100} + 2 = 8,25 \text{ mm}$$

$$d_{\text{polot}} = 125 + 8,25 = 133,25 \text{ mm}$$

$$d_{\text{tyče}} > d_{\text{polot}} \quad 135 > 133,25$$

Vypočteným polotovarem je válcovaná tyč o průměru 135. Tyčový materiál bude dělený na požadovanou délku přířezu pomocí pásové pily. Přídavek na délku součásti jsou 2 mm na každé straně. Firmy dodávající tyčové polotovary ve většině případů vyrábí od průměru 100 mm polotovary odstupňované po 10 mm. Vzhledem k zajištění lepší dostupnosti materiálu odpovídajícího nabídce výrobců by se volila tyč o jmenovitém průměru 130 mm od firmy FS Kladno. Jedná se o tyč kruhovou válcovanou za tepla, která odpovídá normě ČSN EN 10060. Materiál je dodáván ve stavu po normalizačním žíhání [60]. Zvoleným polotovarem by tedy byla tyč \emptyset 130 mm a délce 3 m, ve kterých je tyčový materiál dodáváný.

5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Cílem této kapitoly je návrh technologie výroby součásti náboj kola osobního automobilu. Jedná se o návrh pro kusovou výrobu. Kapitola je rozdělena na části týkající se volby strojů potřebných k výrobě dané součásti, způsobů upnutí obrobků, volby nástrojů a režných podmínek.

5.1 Volba strojů

Před sestavením technologie výroby je nutné stanovit jakým způsobem a na jakých strojích lze součást vyrábět. První operací před samotnou výrobou součásti musí být dělení součásti na pásové pile. Tyčový materiál se nadělí na přířezy o požadované délce. Následující operací je soustružení, které proběhne ve dvou operacích. V první operaci dojde k obrobení pravé strany součásti v hlavním vřetenu, následně se součást přepne do druhého vřetena a obrobí se levá strana součásti, dokončí se otvor v ose součásti a díry ležících mimo osu obrobku. Pro urychlení procesu a zajištění přesnosti ustavení obrobku byl zvolen soustruh se dvěma vřeteny a poháněnými nástroji. Další operací k dosažení požadovaného tvaru součásti je obrázení evolventního drážkování vnitřní válcové plochy. Pro tuto operaci je zvoleným strojem svislá obrážka. Finálním procesem výroby je broušení, neboť se na součásti vyskytuje plocha určená k nalisování ložiska s požadovanou drsností povrchu Ra 0,8 μm . K dosažení této drsnosti je potřebným procesem broušení.

První operací před zahájením samotného obráběcího procesu je dělení tyčového polotovaru na přířez o délce 91 mm. Z tyčového materiálu \varnothing 130 mm a délky 3 m budou nařezány přířezy na délku 91 mm. Pro dělení materiálu bylo uvažováno mezi použitím kotoučové a pásové pily. Hlavní nevýhodou použití kotoučové pily byl velký požadovaný průměr kotouče. Vzhledem k průměru tyče a možnosti pilového kotouče, který se může do materiálu zaříznout pouze do 1/3 svého průměru byla zvolena pásová pila. Další nevýhodou kotoučové pily byl větší prořez materiálu než u pásové. Zvolením pásové pily se nám snížila ztráta materiálu prořezem [61]. Pro dělení materiálu tedy byla zvolena poloautomatická pila PEGAS 230 x 280 SH - LR s kompletním hydraulickým ovládáním (viz obr. 5.1). Jedná se o pilu umožňující dělení plného tyčového materiálu pod nulovým úhlem do průměru 150 mm. Pila nalézá uplatnění v kusové i malosériové výrobě. Stroj je vybaven hydraulickou centrálou, která řídí veškeré funkce pily: tlačí rameno do řezu, zdvihá rameno, otevírá a zavírá svěrák. Pila je vybavena řídicím systémem, který sleduje informace o napnutí pásu a o bezpečném zakrytí pásu, bez kterého nedovolí zapnout proces řezání [62]. Informace týkající se možných rozměrů a tvarů materiálů, které je možno řezat na dané pile a parametry řezání se nachází v příloze 4 [63].



Obr. 5.1 Poloaautomatická pila PEGAS 230x280 SH-LR [62].

Hlavní výrobní operací součásti je soustružení. Výroba součásti má být provedena na 2 upnutí. Pro dosažení požadovaného tvaru součásti je kromě soustružení nutné vyvrtat otvory ležící mimo osu obrobku. Z toho důvodu byl zvolený CNC soustruh SP 280 SY od firmy KOVOSVIT MAS, a. s. (obr. 5.2), technické parametry soustruhu jsou uvedeny v příloze 5 a 6. CNC soustruh umožňuje obrábění součástí do průměru až 280 mm a maximální délky 490 mm. Umožňuje obrábění jak v hlavním vřetenu, tak i obrábění v pravém vedlejším vřetenu [64]. Nástrojová hlava obsahuje 12 pozic pro umístění nástrojů. Maximální otáčky nástrojového vřetenu jsou $4\,000\text{ min}^{-1}$. Lze zvolit jeden ze tří druhů moderních řídicích systémů a to od firem SIEMENS nebo FANUC. Jedná se o řídicí systémy SINUMERIK 840D sl, GE FANUC 0i a GE FANUC 30i. Tyto řídicí systémy garantují dobré regulační vlastnosti a umožňují snadnou obsluhu za pomoci integrovaného dílenského programování [65].



Obr. 5.2 CNC soustruh SP 280SY.

Potřebné zvláštní příslušenství [67]:

- dvě tříčelist'ová sklíčidla,
- nástrojové držáky,
- vyhazování dílce z pravého vřeteníku,
- automatická kontrola nástrojů,
- dopravník třísek a vana na třísky,
- signalizace stavu stroje.

Po soustružení daného tvaru součásti následuje proces obrázení evolventního drážkování. Jedná se o obrázení vnitřní válcové plochy K obrázení vnitřních a vnější tvarových ploch slouží především svislá obrázečka [68]. Pro tuto operaci byla zvolena svislá obrázečka EASTAR TS-200K (obr. 5.3 a příloha 7). Jedná se o stroj s manuálním řízením, který je vhodný pro kusovou výrobu. Mezi základní vlastnosti stroje patří integrovaný mazací systém pro prevenci opotřebení a 8 rychlostní smýkadlo umožňující volbu vhodné rezné rychlosti [69]. Z volitelného vybavení je pro zajištění přesnosti vyráběného drážkování zvolen rotační stůl s digitálním odměřováním a 3 - čelist'ové sklíčidlo pro upnutí součásti [70].



Obr. 5.3 Manuální obrázečka Model TS-200K [69].

Poslední operací ve výrobě dané součásti je broušení plochy sloužící k uložení ložiska. Pro tuto operaci byla zvolena univerzální hrotová bruska Bernardo URS 500 N s digitálním odměřováním (obr. 5.4 a příloha 8). Bruska je vhodná pro broušení součástí až do průměru 200 mm, což je pro danou součást dostačující. Daná bruska je vhodná pro použití v kusové a malosériové výrobě, pro sériovou výrobu se nedoporučuje [71].



Obr. 5.4 Univerzální hrotová bruska Bernardo URS 500 N s digitálním odměřováním [71].

5.2 Upínání obrobků

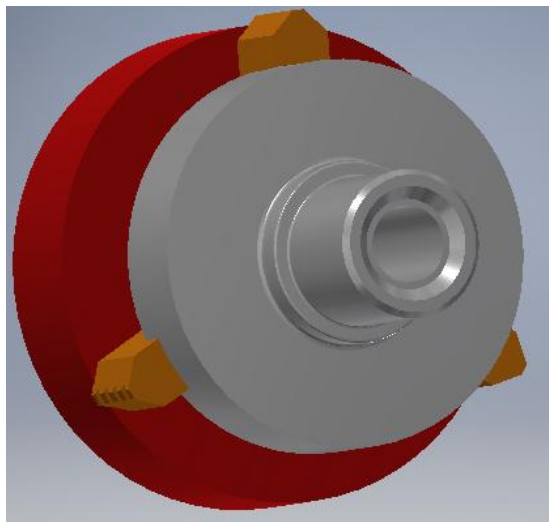
Tato kapitola popisuje způsob upnutí obrobků při jednotlivých operacích výroby dané součásti. Je zde popsán krátký přehled možného upínání obrobku při daných technologických operacích.

Při soustružení

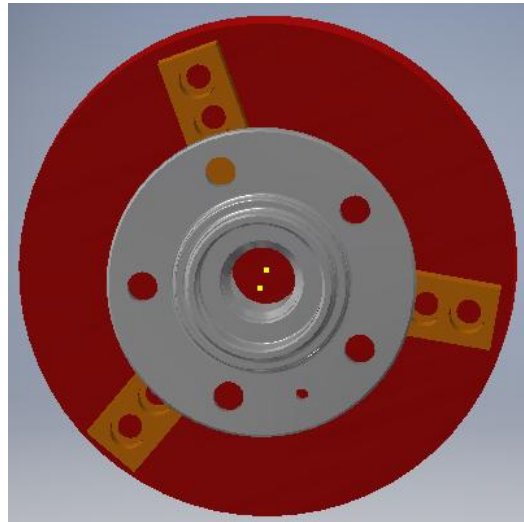
Účelem upnutí obrobku je zaručení jednoznačné polohy obrobku vůči funkčním částem obráběcího stroje. Upnutí musí být dostatečně tuhé a spolehlivé. Pro operaci soustružení lze používat různé upínací elementy, nebo jejich kombinace. Mezi základní upínací elementy pro soustružení patří univerzální sklíčidlo, samosvorné sklíčidlo, univerzální upínací deska, pevný, otočný a odpružený hrot, unášecí deska se srdcem atd. Způsob, jakým bude obrobek upnutý, závisí na jeho tvaru a hmotnosti. Dále také na druhu soustruhu a na přesnosti, která je požadovaná. Například obrobky, jejichž poměr délky vůči průměru je větší než 2 až 3 se upínají mezi hroty, pokud je poměr délky vůči průměru velký, podírají se obrobky při soustružení lunetami. Kratší a těžší obrobky nepravidelných tvarů lze upnout na upínací desku se samostatně stavitelnými čelistmi. Pro tyčový materiál středních a větších průměrů se volí upínací kleštiny. Ze všech upínacích zařízení se nejčastěji používá univerzální sklíčidlo, u kterého způsob upínání záleží na automatizaci stroje. U klasických strojů se nejčastěji používá ruční upínání, které může být u automatizovaných soustruhů nahrazeno pneumatickým, elektrickým nebo hydraulickým zdrojem energie vyvolávajícím upínací sílu [68].

Upnutí obrobku pro operaci soustružení na CNC soustruhu SP280 SY bude provedeno pomocí tříčelistového sklíčidla. Soustruh obsahuje dvě vřetena s tříčelistovými sklíčovými. Tyto sklíčidla jsou dodávány jako speciální příslušenství k CNC soustruhu. Maximální průměr součásti, který lze obrábět na zvoleném soustruhu je $\varnothing 280$ mm [64]. Vzhledem k maximálnímu možnému průchozímu průměru otvorem v levém vřetenu, který je 61 mm, je zvoleným polotovarem přířez z tyče o $\varnothing 130$ mm a délce 91 mm. První upnutí

polotovaru bude v levém sklíčidle tvrdými čelistmi za průměr 130 mm a po opracování pravé strany součásti se polotovar přepne do pravého sklíčidla s měkkými čelistmi, kde bude dokončena levá strana součásti (viz obr. 5.5).



a) Pravá strana



b) Levá strana

Obr. 5.5 Upnutí obrobku při soustružení pravé a levé strany součásti.

Při obrážení

Po soustružení daného tvaru součásti následuje proces obrážení evolventního drážkování. Jedná se o obrážení vnitřní válcové plochy. Tato operace probíhá na svislé obrážece. Obrobek je upnut do tříčelist'ového sklíčidla, které leží na rotačním stole s digitálním odměřováním pro zajištění přesné polohy obrážených drážek [69]. Upnutí obrobku musí být dostatečně pevné a musí se mu věnovat zvýšená pozornost, neboť při procesu obrážení dochází k rázovému záběru nástroje [68].

Při broušení

Poslední operací ve výrobě dané součásti je broušení plochy sloužící k uložení ložiska. Broušení probíhá na univerzální hrotové brusce vybavené čtyř čelist'ovým sklíčidlem s měkkými čelistmi.

5.3 Volba nástrojů

Dělení

Pilový pás [72]:

- rozměry 2720 x 27 x 0,9 mm,
- název HONSBURG MASTER M42,
- profil zubu K, se odrážkový zub s pozitivním úhlem čela 10° (viz obr. 5.6),

- složení pilového pásu:

- řezná část – rychlořezná nástrojová ocel s 8% obsahem kobaltu a 10% obsahem molybdenu,
- nosná část - pružná ocel se 4 % chromu.

Použití:

- dělení ušlechtilých ocelí, žáruvzdorných slitin a titanu v tyčovém provedení



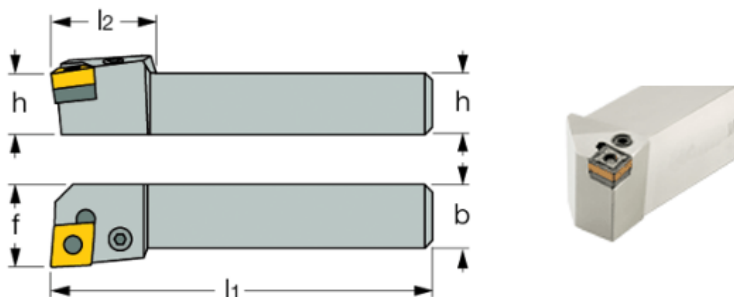
Obr. 5.6 Profil pilového pásu [72].

Soustružení

Při obrábění dané součásti bude soustružena čelní i válcová plocha obrobku i vnitřní otvor. Soustružení bude probíhat v pravém i v levém vřetenu, je tedy nutné volit pravé a levé soustružnické nože a vzhledem k soustružení a vrtání děr také příslušné vrtáky a vnitřní nože.

Ubírací stranový nůž pro vnější hrubovací soustružení [73]:

- nůž PCLNL/R 3225P-12,
- úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 95^\circ$,
- nůž určený pro obrábění čelní a válcové plochy,
- použití pro obrábění pravé i levé strany součásti, použití nože v pravém i levém provedení.



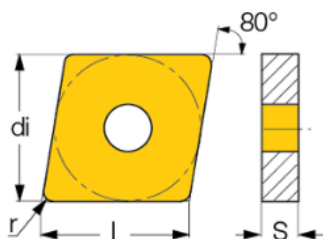
Obr. 5.7 Nůž PCLNR 3225P-12 [73].

Tab. 5.1 Rozměry vnějšího nože PCLNR 3225P-12 [73].

h	b	f	l_1	l_2	λ_s	γ_o
[mm]					[°]	
32	32	40	170	35	-6	-6

Výměnná břitová destička pro vnější hrubovací soustružení [73]:

- CNMM 120408-NM,
- materiál IC 9350, odpovídající skupině ISO P a podskupině P20–P45,
- způsob nanášení povlaku CVD,
- typ povlaku TiCN + Al₂O₃ + TiN,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 150\text{--}330 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



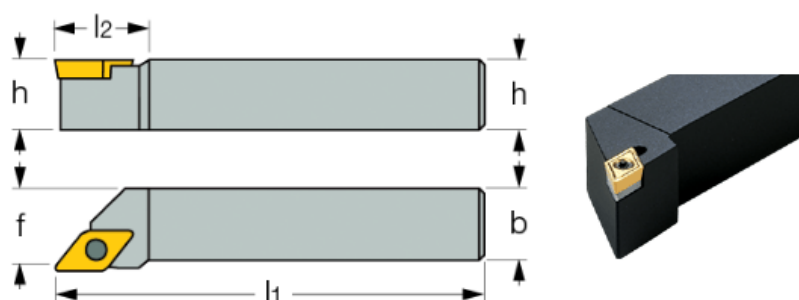
Obr. 5.8 VBD CNMM 120408-NM [73].

Tab. 5.2 Rozměry CNMM 120408-NM [73].

l	di	S	r	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
[mm]							
12,9	12,7	4,76	0,8	0,25	0,5	1,5	6

Ubírací stranový nůž pro vnější dokončovací soustružení [73]:

- nůž SDJCL/R 2525M-11,
- úhel nastavení hlavního ostří $K_r = 93^\circ$,
- nůž určený pro obrábění válcových, čelních i tvarových ploch,
- použití pro obrábění pravé i levé strany součásti, použití nože v pravém i levém provedení.



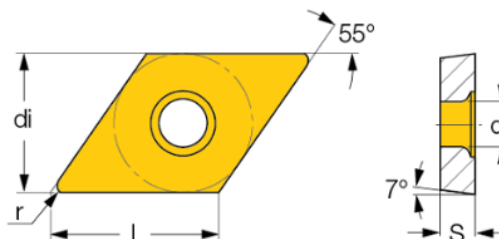
Obr. 5.9 Nůž SDJCR 2525M-11 [73].

Tab. 5.3 Rozměry vnějšího nože SDJCL/R 2525M-11 [73].

h	b	f	l ₁	l ₂	λ_s	γ_o
[mm]					[°]	
25	25	32	150	20	0	0

Výměnná břitová destička pro vnější dokončovací soustružení [73]:

- DCMT 11T304,
- materiál IC520N, odpovídající skupině ISO P a podskupině P05–P25,
- způsob nanášení povlaku PVD,
- typ povlaku TiCN + TiN,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 210\text{--}370 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



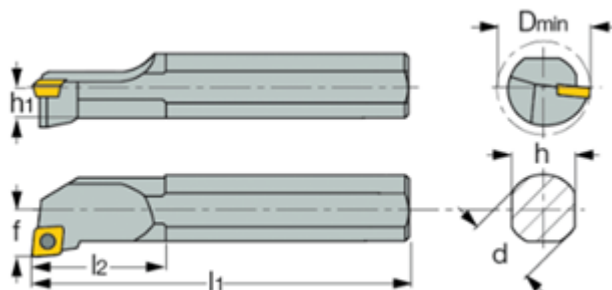
Obr. 5.10 VBD DCMT 11T304 [73].

Tab. 5.4 Rozměry DCMT 11T304 [73].

l	di	S	r	d ₁	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
[mm]								
11,6	9,52	3,97	0,4	4,4	0,12	0,25	0,5	2

Soustružení vnitřní díry pravé strany [73]:

Volba nože pro soustružení vnitřního otvoru je omezená velikostí vyvrtané díry. Vyvrtaná díra v ose součásti má průměr 25 mm. Zvolený nůž musí být tedy menší než vyvrtaná díra. Zvoleným nožem je možné obrábět vnitřní otvor v předvrtané díře o minimálním průměru 20 mm. Zvoleným nožem je S16Q – SCLCL 09 [73]. Zvolený nůž tedy danému kritériu vyhovuje.



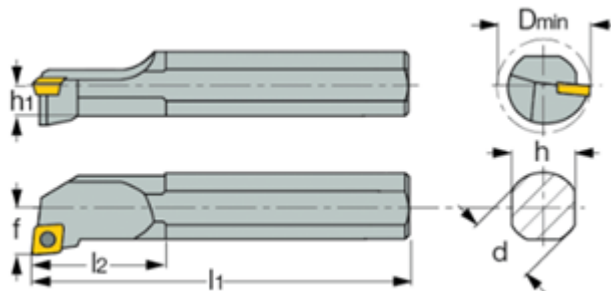
Obr. 5.11 Vnitřní nůž S16Q – SCLCL 09 [73].

Tab. 5.5 Rozměry vnitřního nože S16Q – SCLCL 09 [73].

d	f	l ₁	h	l ₂	D _{min}	λ _s	γ _o
[mm]						[°]	
16	11	180	15	45	20	-6	0

Soustružení vnitřní díry z levé strany [73]:

Zvolený nůž musí opět respektovat omezení velikosti vyvrtané díry. Díra před soustružením bude 28 mm. Zvoleným nožem je S20L – SCLCR-09. Minimální průměr díry, ve které může nůž pracovat je 25 mm [73]. Zvolený nůž tedy danému kritériu vyhovuje.



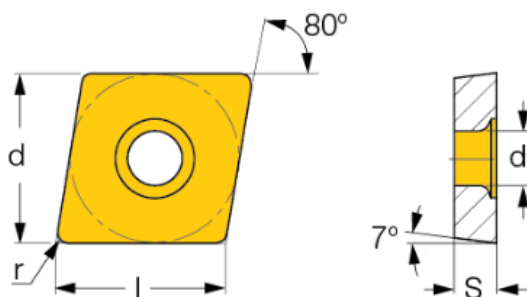
Obr. 5.12 Vnitřní nůž S20L – SCLCR-09 [73].

Tab. 5.6 Rozměry vnitřního nože S20L – SCLCR-09 [73].

d	f	l ₁	h	l ₂	D _{min}	λ _s	γ _o
[mm]						[°]	
20	13	200	18	50	25	-4	0

Výměnná břitová destička pro vnitřní soustružení pro oba nože [73]:

- CCMT 09T304-PF,
- materiál IC807, odpovídající skupině ISO P a podskupině P10–P30,
- způsob nanášení povlaku PVD,
- typ povlaku TiAlN + TiN,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 90\text{--}220 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



Obr. 5.13 VBD CCMT 09T304-PF [73].

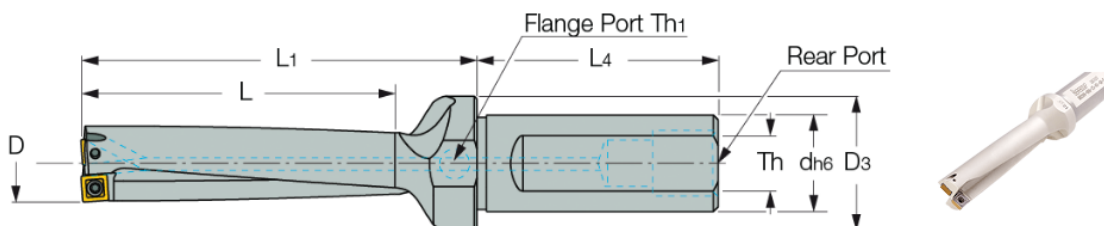
Tab. 5.7 Parametry CCMT 09T304-PF [73].

l	d _i	S	r	d ₁	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
[mm]								
9,7	9,52	3,97	0,4	4,4	0,05	0,35	0,5	3,5

Vrtání

Vrták pro vyvrtání díry ležící v ose [73]:

Pro vyvrtání díry v ose obrobku volíme vrták s výměnnými břitovými destičkami o průměru 25 mm. Tento nástroj vyvrtá díru v ose obrobku, která bude následně soustružena vnitřním nožem na požadovaný tvar. Vrták musí být schopen vyvrtat díru v délce 90 mm. Zvoleným vrtákem je destičkový vrták DR250-100-32-09-4D-T. Maximální hloubka díry, kterou lze tímto vrtákem vyvrtat je 100 mm, což pro danou díru vyhovuje [73].



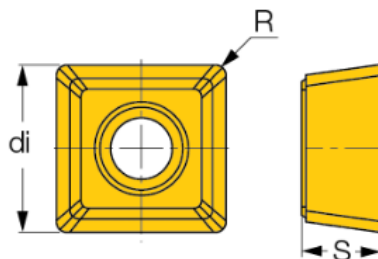
Obr. 5.14 Destičkový vrták DR250-100-32-09-4D-T [73].

Tab. 5.8 Rozměry destičkového vrtáku DR250-100-32-09-4D-T [73].

L	L ₁	L ₄	dh6	D ₃	D
[mm]					
100	133	58	32	42	25

Výměnná břitová destička pro vnější hrubovací soustružení [73]:

- SOMT 09T306-HD,
- materiál IC808, odpovídající skupině ISO P a podskupině P15–P30,
- způsob nanášení povlaku PVD,
- typ povlaku TiAlN + TiN,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 150\text{--}200 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



Obr. 5.15 VBD SOMT 09T306-HD [73].

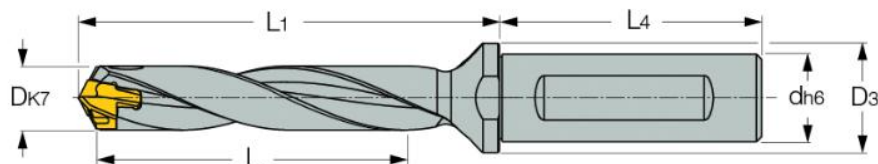
Tab. 5.9 Rozměry SOMT 09T306-HD [73].

di	S	r	f _{min}	f _{max}
[mm]				
9	3,81	0,6	0,15	0,24

Vrtáky pro vrtání děr ležících mimo osu součásti

Vrták průměr 13 [73]:

- Vrták s výměnnými hlavicemi DCN 125-037-16A-3D.



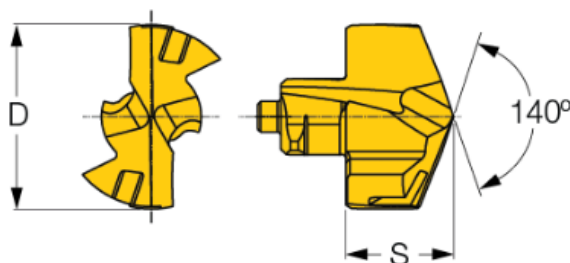
Obr. 5.16 Destičkový vrták DR250-100-32-09-4D-T [73].

Tab. 5.10 Rozměry destičkového vrtáku DR250-100-32-09-4D-T [73].

Dk7	L ₁	L	dh6	L ₄	D ₃
[mm]					
12,5	54,5	37	16	48	20

Výměnná hlavice [73]:

- ICP 125,
- určena pro vrtání uhlíkových ocelí (ISO P),
- materiál IC 908, odpovídající skupině ISO P a podskupině P15–P30,
- způsob nanášení povlaku PVD,
- typ povlaku TiAlN,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 70\text{--}110 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



Obr. 5.17 Destičkový vrták DR250-100-32-09-4D-T [73].

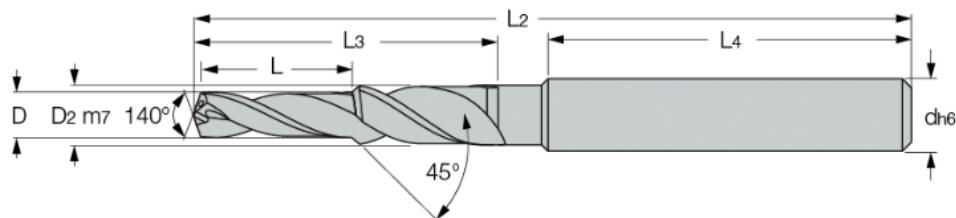
Tab. 5.11 Rozměry výměnné hlavice ICP 25 [73].

D	S	f _{min}	f _{max}
[mm]			
12,5	7	0,18	0,30

Vrták průměr 5 [73]:

- celokarbidový vrták s vnitřním chlazením pro předvrtání otvorů SCDT 050-017-080-M6,
- materiál IC 908, odpovídající skupině ISO P a podskupině P15-P30,
- způsob nanášení povlaku PVD,

- typ povlaku TiAlN,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 40\text{--}85 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



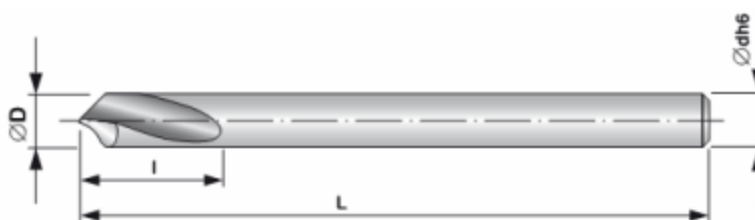
Obr. 5.18 Vrták SCDT 050-017-080-M6 [73].

Tab. 5.12 Rozměry destičkového vrtáku SCDT 050-017-080-M6 [73].

D	D ₂	L	L ₂	L ₃	dh6	L ₄	f _{min}	f _{max}
[mm]								
5	6,6	16,5	79	34	8	40	0,08	0,2

NC navrtávák 90° [74]:

- označení výrobce ZVSE 221185,
- materiál HSSCo,
- navrtávák o průměru 16 mm s úhlem špičky 90°,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 30 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a doporučený posuv 0,25 mm.



Obr. 5.19 Kuželový záhlubník DIN 335, tvar C, 90°[74].

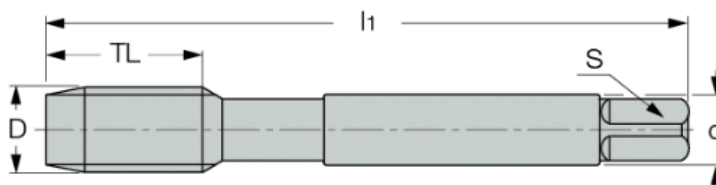
Tab. 5.13 Rozměry výměnné hlavice ICP 25 [74].

D	L	l
[mm]		
16	115	40

Řezání závitůZávit M14 x 1,5 [73]:

- označení TPG MF-14x1,5-M,
- závitník z rychlořezné oceli DIN 374,
- způsob nanášení povlaku PVD,

- typ povlaku TiN,
- určen pro průchozí díry,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 12\text{--}15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



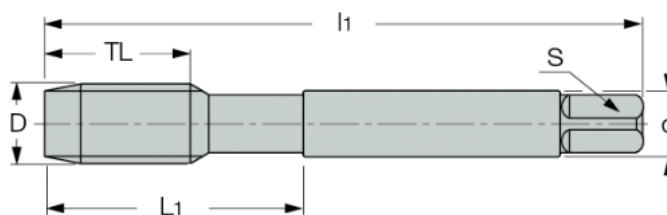
Obr. 5.20 Závítník TPG MF-14x1,5-M [73].

Tab. 5.14 Rozměry závítníku TPG MF-14x1,5-M [73].

D	P	L ₁	TL	d	S	Předvrtaná díra
[mm]						
M14	1,5	100	22	11	9	12,5

Závit M6x1 [73]:

- označení TPG M-6x1,0-M,
- závítník z rychlořezné oceli DIN 374,
- způsob nanášení povlaku PVD,
- typ povlaku TiN,
- určen pro průchozí díry,
- doporučená řezná rychlost $v_c = 12\text{--}15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.



Obr. 5.21 Závítník TPG M-6x1,0-M [73].

Tab. 5.15 Rozměry závítníku TPG M-6x1,0-M [73].

D	P	L ₁	TL	d	S	Předvrtaná díra
[mm]						
M6	1	80	17	6	4,9	5

Obrázení [75]:

- obrážecí kotoučový nůž na evolventní ozubení s přímými zuby se stopkou, dle ČSN 22 2580,
- obrážecí nůž z HSS,
- označení Nůž 0,8x30°x36x28,8 – AA ČSN 22 2580 HSS.

Broušení [76]:

- brusný kotouč 99A 46 K V 400 x 50 x 203,
- bílý korund (99,8 % oxidu hlinitého),
- zrnitost střední 46,
- stupeň tvrdosti K měkký,
- keramické pojivo V,
- použití na broušení ocelí, tvrdých i tepelně citlivých ocelí.

5.4 Kontrolní výpočet silového působení při soustružení válcové plochy

Obsahem této podkapitoly je ověření výkonu hlavního vřetena a protivřetena při maximálních průřezech třísky. Celkový výkon obráběcího stroje potřebný pro pokrytí řezného výkonu lze vyjádřit ze znalosti velikosti řezné síly a řezných rychlostí. Každý obráběcí stroj vykazuje mechanické ztráty, ztráty na převodech a na pohybových systémech. Elektrická energie využívaná při obrábění je vždy větší než energie potřebná pro řezný proces, z toho důvodu se uvažuje s mechanickou účinností obráběcího stroje [77].

Celkový výkon obráběcího stroje potřebný pro pokrytí řezného výkonu [78]:

$$P = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \quad (5.1)$$

kde:

F_c – řezná síla [N],

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

η – mechanická účinnost obráběcího stroje [-].

Potřebné vztahy pro výpočet potřebné energie obráběcího stroje:

- jmenovitý průřez třísky [77]:

$$A_D = a_p \cdot f \quad [\text{mm}^2] \quad (5.2)$$

- tloušťka třísky [77]:

$$h = f \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]} \quad (5.3)$$

- měrná řezná síla vyjádřena vztahem závislosti specifické řezné síly na tloušťce třísky [77]:

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}} \text{ [N} \cdot \text{mm}^2] \quad (5.4)$$

- řezná síla [78]:

$$F_c = k_c \cdot A_D \text{ [N]} \quad (5.5)$$

kde:

A_D – jmenovitý průřez třísky [mm^2],

a_p – šířka záběru ostří [mm],

f – posuv na otáčku [mm],

h – tloušťka třísky [mm^2],

$\sin \kappa_r$ – úhel nastavení hlavního ostří,

k_c – měrná řezná síla [$\text{N} \cdot \text{mm}^2$],

$k_{c1.1}$ – specifická řezná síla [$\text{N} \cdot \text{mm}^2$],

h – tloušťka třísky [mm^2],

m_c – tangenta úhlu strmosti [-],

F_c – řezná síla [N].

Pro výpočet měrné řezné síly uvažujeme s hodnotami materiálu ocel 12 061, který má velmi podobné vlastnosti jako používaná ocel 12 060. Hodnoty byly získané z Příručky obrábění [79]. Použité hodnoty specifické řezné síly a tangenty úhlu strmosti odpovídají nelegované oceli k zušlechťování 12 061.

Výpočet pro nejvyšší řezné podmínky u hlavního vřetena:

- Výkon hlavního elektovřetena $P_{vh} = 20,9 \text{ kW}$.
- Specifická řezná síla pro materiál $k_{c1.1} = 2130 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$.
- Tangenta úhlu strmosti $m = 0,18$.
- Mechanickou účinnost stroje uvažujeme $\eta = 0,8$.
- Řezné podmínky:
 - řezná rychlost: $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
 - posuv na otáčku: $f = 0,4 \text{ mm}$,

- šířka záběru ostří: $a_p = 4 \text{ mm}$.

Hodnoty specifické řezné síly z Garant: Příručky obrábění [79] se vztahují k parametrům:

- Řezný materiál: Slinutý karbid.
- Řezná rychlost $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Úhel čela $\gamma = 6^\circ$.
- Úhel nastavení $\kappa = 45^\circ$.
- Pracovně ostrý břit.

Při odchylce od daných podmínek je nutné uvažovat korekční faktory pro výpočet řezné síly [79].

Vztah pro výpočet řezné síly se zahrnutím korekčních parametrů (tab. 5.16) [79]:

$$F_c = k_c \cdot A_D \cdot \kappa_\gamma \cdot \kappa_v \cdot \kappa_{Sch} \cdot \kappa_{Ver} \text{ [N]} \quad (5.6)$$

Kde:

κ_γ - oprava úhlu čela,

κ_v - oprava řezné rychlosti,

κ_{Sch} - oprava řezného materiálu,

κ_{Ver} - oprava opotřebení.

Vztah pro výpočet opravy úhlu čela [79]:

$$\kappa_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_k}{66,7^\circ} \quad (5.7)$$

Tab. 5.16 Korekční faktory pro výpočet řezné síly [79].

	Výpočet / Rozsah hodnot	Poznámka
κ_γ	$\kappa_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_k}{66,7^\circ}$	κ_γ - oprava úhlu čela, γ – skutečný úhel čela, γ_k - pro obrábění ocelí 6° .
κ_v	pokud $v_c > 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \Rightarrow \kappa_v = 1$ pokud $v_c < 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \Rightarrow \kappa_v = 1,15$	Ostří ze SK. Ostří z HSS.
κ_{Sch}	1 0,95...0,9	SK. Řezná keramika.
κ_{Ver}	1 1,3.... 1,5	Pracovně ostrý nástroj. Opotřebovaný nástroj.

Výpočet:

$$A_D = a_p \cdot f = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ mm}^2$$

$$h = f \cdot \sin \kappa_r = 0,4 \cdot \sin 95^\circ = 0,398 \text{ mm}$$

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m} = \frac{2130}{0,398^{0,18}} = 2514,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$\kappa_\gamma = 1 - \frac{-6 - 6}{66,7^\circ} = 1,1799$$

$$F_c = k_c \cdot A_D \cdot \kappa_\gamma \cdot \kappa_v \cdot \kappa_{Sch} \cdot \kappa_{Ver} = 2514,2 \cdot 1,6 \cdot 1,1799 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 4746,41 \text{ N}$$

$$P = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} = \frac{4746,41 \cdot 200}{6 \cdot 10^4 \cdot 0,8} = 19,78 \text{ kW}$$

Výkon hlavního vřetena stroje potřebný pro pokrytí řezného výkonu dostačuje.

Stejným způsobem byly ověřeny podmínky pro hrubování v protivřetenu, celkový výkon obráběcího stroje potřebný pro pokrytí řezného výkonu je 7,4 kW, což k pokrytí celkového výkonu obráběcího stroje potřebného pro pokrytí řezného výkonu dostačuje.

Skutečný výkon lze také získat s využitím aplikace u výrobců nástrojů, kteří mají širokou databázi materiálů, se kterými jsou spojené hodnoty jejich specifické řezné síly a tangenty úhlu. Například aplikace firmy ISCAR umožňuje výpočet skutečného požadovaného výkonu. Jedná se o aplikaci Machining power [80].

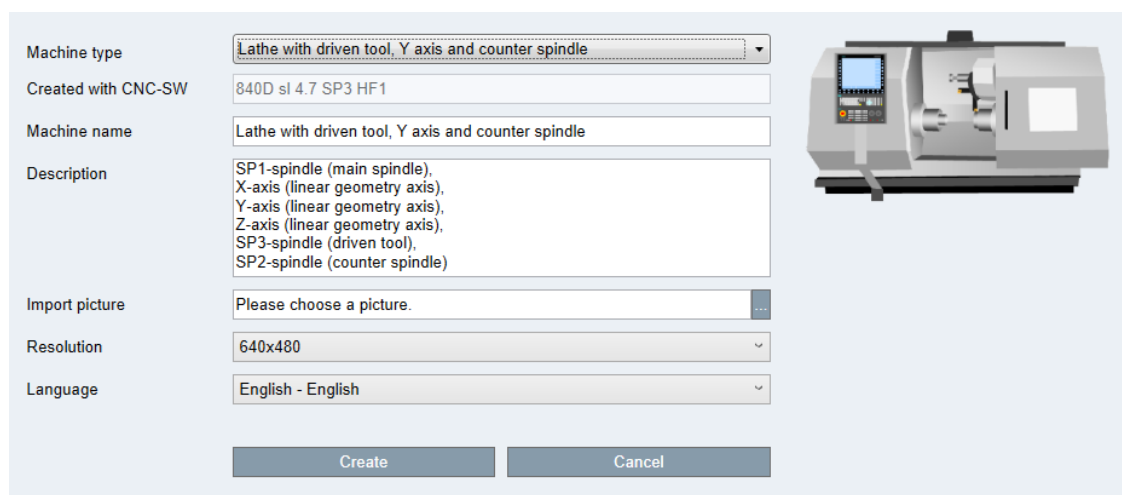
6 TVORBA NC PROGRAMU

Obsah této kapitoly je zaměřený na programování součásti pomocí software SinuTrain V4.7 Ed. 2 Basic. Kapitola obsahuje informace o spuštění programu, změně parametrů nástrojů a jejich vytváření. Další část kapitoly se zabývá příkazy, podle kterých byl NC program sestavený. Program byl sestavený dle výkresové dokumentace (viz příloha 9) a technologického postupu (viz příloha 10) s využitím nástrojů zvolených v předchozí kapitole.

6.1 Spuštění SinuTrain V4.7 Ed. 2 – Basic a založení programu

Spuštění software

Prvním úkolem po spuštění software SinuTrain V4.7 Ed. 2 – Basic je volba stroje, pro který bude program vytvořen. Výstupem práce je pouze odzkoušení programu ve formě simulace, ale v případě skutečné výroby by program odpovídal výrobním možnostem CNC soustruhu SP 280 SY od firmy KOVOSVIT MAS, a. s. Ze vzorových strojů poskytnutých softwarem volíme stroj s poháněnými nástroji, s protivřetenem a možností pohybu v ose Y.



The screenshot displays the 'Machine selection' window in SinuTrain V4.7 Ed. 2 – Basic. The form contains the following fields:

- Machine type:** A dropdown menu showing 'Lathe with driven tool, Y axis and counter spindle'.
- Created with CNC-SW:** A text field containing '840D sl 4.7 SP3 HF1'.
- Machine name:** A text field containing 'Lathe with driven tool, Y axis and counter spindle'.
- Description:** A text area containing 'SP1-spindle (main spindle), X-axis (linear geometry axis), Y-axis (linear geometry axis), Z-axis (linear geometry axis), SP3-spindle (driven tool), SP2-spindle (counter spindle)'.
- Import picture:** A text field with the placeholder 'Please choose a picture.' and a browse button.
- Resolution:** A dropdown menu showing '640x480'.
- Language:** A dropdown menu showing 'English - English'.

At the bottom of the form are two buttons: 'Create' and 'Cancel'. To the right of the form is a 3D model of a lathe machine.

Obr. 6.1 Volba stroje v prostředí SinuTrain V4.7 Ed. 2 – Basic.

Založení NC programu

Před samotným začátkem programování je důležité naplánovat způsob opracování součásti a stanovení technologického postupu. Čím lépe budou tyto dvě operace naplánované, tím rychleji a organizovaněji lze NC program sestavit. Navíc díky přesně naplánovaným operacím lze program napsat velmi přehledně a organizovaně, což při následných úpravách a změnách urychlí proces [81].

Při sestavování názvu NC programu může mít každý program svůj vlastní název, který je omezený několika základními pravidly [81]:

- název by neměl být delší než 24 znaků (NC systém vypisuje pouze 24 prvních znaků),
- povolenými znaky jsou velká a malá písmena, číslice a znak podtržení: _,
- jako první dva znaky by měla být dvě písmena nebo znak podtržení a jedno písmeno.

Při zakládání NC programu lze volit mezi dvěma způsoby programování. Lze využít programování pomocí G-kódu nebo pomocí dílenského programování ShopTurn. Pro sestavení programu pomocí G-kódu je důležitá znalost programování podle ISO kódu a znalost cyklů umožňujících proces vytváření NC programu. Struktura a obsah programu se skládá z posloupnosti NC bloků, každý blok obsahuje data pro uskutečnění jednotlivých kroků při opracování obrobku. Struktura programu a přehled základních příkazů je popsána v kapitole 2.1 [81]. Při programování lze sestavit hlavní program s využitím podprogramů a cyklů usnadňujících práci programátora.

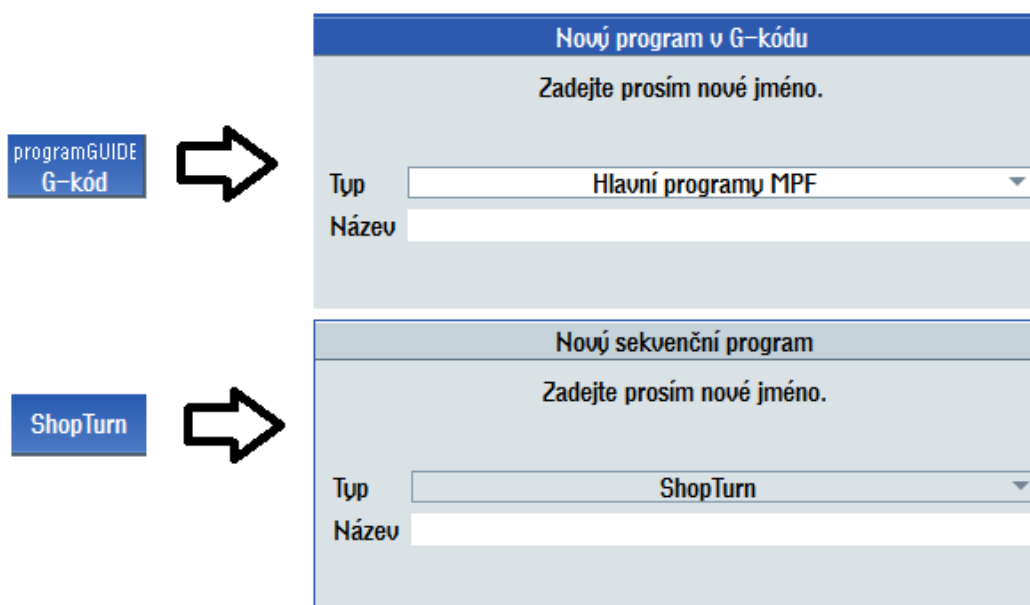
Typy programů [3]:

- Výrobní program – je složený z posloupností příkazů pro NC řídicí systém, příkazy určují jednotlivé obráběcí operace při opracování obrobku na požadovaný tvar.
- Podprogram – jedná se o posloupnost příkazů výrobního programu, kterou lze vyvolávat do hlavního programu s různými vstupními parametry. Do podprogramu lze zařadit i cykly, což jsou podprogramy opakujících se obráběcích procesů např. vrtání, navrtávání středících důlků, soustružení podle kontury a další.

Druhým způsobem je metoda s využitím způsobu pomocí ShopTurn, která je jednodušší, vhodná pro začínající programátory. Hlavní výhodou je, že zde není požadována znalost G-kódu, ale program se sestaví v přehledném pracovním plánu a jednotlivé konturové prvky a cykly se zobrazují na grafickém panelu [34].

Při vytváření NC programu volíme z variant (viz obr. 6.2):

- tvorba programu pomocí program GUIDE, tedy G-kódu,
- tvorba programu za pomoci ShopTurn (dílenského programování).



Obr. 6.2 Volba způsobu programování v prostředí SinuTrain V4.7 Ed. 2 – Basic.

6.2 Vytvoření nového nástroje

Vytvoření nového nástroje

Program SinuTrain V4.7 poskytuje možnost volit z 20 předdefinovaných druhů nástrojů. Pro obráběcí proces tedy lze zvolit některý z předdefinovaných nástrojů. Také lze některý nástroj upravit pomocí změny některých jeho parametrů, nebo lze vytvořit nový nástroj podle specifikací výrobce a potřeb pro výrobu dané součásti. Přístup do seznamu nástrojů získáme stisknutím tlačítka Edit na vodorovné klávesnici pod grafickou obrazovkou. Následně na svislé klávesnici zvolíme Vybrat nástroj a zobrazí se tabulka 20 předdefinovaných nástrojů od výrobce řídicího systému (viz obr 6.4). Po výběru nástroje potvrdíme volbu stisknutím tlačítka OK (obr. 6.3) [81, 3].



Obr. 6.3 Volba nástroje z předdefinovaných nástrojů.

Seznam nástrojů							MAGAZIN1
Místo	Typ	Název nástroje	ST	D	Délka X	Délka Z	Rádus
1		ROUGHING_T80 A	1	1	55.000	39.000	0.800
2		DRILL_32	1	1	0.000	185.000	32.000
3		FINISHING_T35 A	1	1	124.000	57.000	0.400
4		ROUGHING_T80 I	1	1	-9.000	122.000	0.800
5		PLUNGE_CUTTER_3 A	1	1	85.000	44.000	0.200
6		PLUNGE_CUTTER_3 I	1	1	-12.000	135.000	0.100
7		FINISHING_T35 I	1	1	-12.000	122.000	0.400
8		THREADING_1.5	1	1	100.000	42.000	0.050
9		CUTTER_8	1	1	0.000	74.000	8.000
10		DRILL_5	1	1	0.000	185.000	5.000
11		BUTTON_TOOL_8	1	1	88.000	38.000	2.000

Obr. 6.4 Tabulka systémem předdefinovaných nástrojů.

Po zobrazení tabulky předdefinovaných nástrojů lze tedy nástroj vybrat, ale také lze vytvořit nástroj nový dle požadovaných parametrů. Pro nastavení nového nástroje musíme označit prázdné políčko v nástrojovém listu a stisknout tlačítko Nový nástroj na svislé klávesnici ovládacího panelu. Při vytváření nového nástroje máme možnost vybírat z několika typů nástrojů pro základní operace (viz obr. 6.5). Jedná se o frézy, vrtáky, brousící nástroje, soustružnické nástroje a speciální nástroje. Při zvolení soustružnického hrubovacího nástroje v tabulce (viz obr. 6.5) a potvrzením tlačítkem OK se nám otevře nabídka možností nastavení parametrů nástroje dle výrobce nástrojů (viz obr. 6.6) [3].

Seznam nástrojů				MAGAZIN1			Oblíbené
Místo	Typ	Název nástroje	S	Nový nástroj – oblíbené			
				Typ	Identifikátor	Pol. nástroje	
4	URTAK2			500	Hrubovací nůž		Fréza 100–199
5	URTAK			510	Hladicí nůž		
6	URTAK2			520	Zapichovák		Urták 200–299
7	DRILL_32_C2			540	Závitový nůž		
8	ZÁVITNÍK			550	Kopinatý vrták		
9	UNITRNI			560	Uvrtávací nůž		
10	UNITRNI2			580	3D sonda soustružení		
11	HRUBOUACINUZ1			730	Zarážka		Soustruž. nůž 500–599
12	HRUBOUACINUZ2			120	Stopková fréza		
13	FINISHING_C2 A			140	Rovinná fréza		Spec. nástroj 700–900
14				150	Kotoučová fréza		
15				200	Šroubovitý vrták		
16				240	Závitník		
17							
18							
19							
20							
							Storno
							OK

Obr. 6.5 Tabulka nástrojů s možností vytvoření nového nástroje.

											1 2 3 4 5 6
Místo	Typ	Název nástroje	ST	D	Délka X	Délka Z	Rádus		Dél dest		1
11		HRUBOUACINUZ1	1	1	55.000	39.00	0.800		95.0	80	12.0

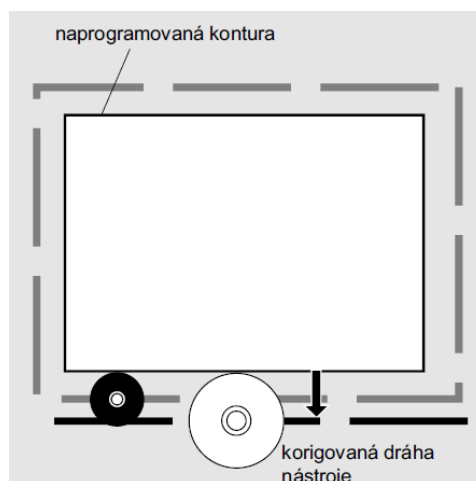
Obr. 6.6 Vytváření nového nástroje.

Tab. 6.4 Zadávané parametry a jejich význam.

Místo	Číslo zásobníku.	Rádus	Průměr nástroje.
Typ	Typ nástroje, poloha bříty.	1	Poloha nástroje.
Název	Název nástroje.	2	Úhel nastavení hlavního ostří [°].
ST	Sesterský nástroj.	3	Úhel bříty [°].
D	Číslo bříty.	4	Délka destičky [mm].
Délka X	Délka nástroje v ose x [mm].	5	Směr otáčení vřetena.
Délka Z	Délka nástroje v ose z [mm].	6	Chlazení.

6.3 Korekční parametry

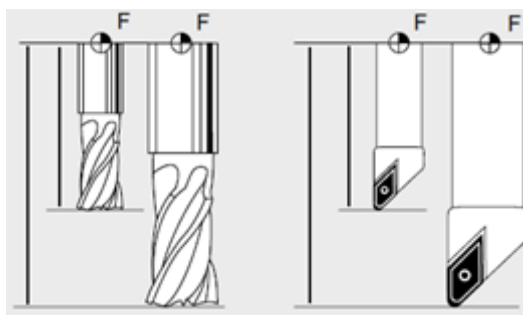
Při tvorbě programu sestavíme program definováním rozměrů obrobku dle výkresu a řídicí systém zkoriguje dráhu nástroje, aby bylo možné naprogramovanou konturu vyrobit. Pro výpočet dráhy nástroje musí být jeho parametry uloženy v paměti korekčních parametrů v řídicím systému. Při volání potřebného nástroje se použije znak T s definovaným číslem nebo názvem nástroje a znak D (číslo), ke kterému jsou přiřazeny korekční parametry nástroje. Za pomoci těchto korekcí systém při průběhu NC programu přepočítává dráhu nástroje a zajišťuje požadovanou konturu obrobku (obr. 6.7) [81].



Obr. 6.7 Uskutečnění naprogramované dráhy s využitím korekcí [81].

Korekční parametry

- Korekce délky: Jedná se o korekci, sloužící k vyrovnaní rozdílů v délce používaných nástrojů. Pod pojmem délka nástroje uvažujeme vzdálenost mezi bodem držáku pro upnutí nástroje a špičkou nástroje (obr. 6.8). Tyto délky se ukládají do paměti korekčních parametrů řídicího systému a ten podle těchto parametrů následně vypočítává pohybové vzdálenosti ve směru přísmvu [81].



Obr. 6.8 Korekce délky soustružnického nože a frézy [81].

- Korekce rádiusu nástroje: Při této korekci se zadávají do paměti korekčních parametrů formace o tvaru nástroje (rádiusu). Ze závislosti rádiusu a směru obrábění se v průběhu zpracování programu posunuje naprogramovaná dráha středu nástroje tak, aby břit nástroje vytvářel požadovanou konturu [81].



Obr. 6.9 Ukázka posunutí naprogramované dráhy středu nástroje pro zajištění pohybu břitu nástroje podél požadované kontury [81].

Po vytvoření nového nástroje tedy následuje část zaměřená na úpravu jeho parametrů. Jedná se o zadávání délkových a rádiusových parametrů. Při obrábění nástroj mění svůj tvar, dochází k jeho opotřebení. Veškeré tyto informace se mohou zaneść do tabulky korekcí daného nástroje. Jedná se o korekční hodnoty určující délku nástroje, rádius a opotřebení nástroje, které lze zadat v hodnotách v závislosti životnosti nástroje na: čas, množství kusů, opotřebení (viz obr. 6.10) [81].

Opotřebení nástroje										MAGAZIN1		Třídít
Místo	Typ	Název nástroje	ST	D	ΔDélkaX	ΔDélkaZ	Δrádius	T	C			
5		URTAK	1	1	0.000	0.000	0.000					
6		URTAK2	1	1	0.000	0.000	0.000					
7		DRILL_32_C2	1	1	0.000	0.000	0.000					
8		ZÁVITNÍK	1	1	0.000	0.000	0.000					
9		UNITRNI	1	1	0.000	0.000	0.000					
10		UNITRNI2	1	1	0.000	0.000	0.000					
11		HRUBOUACINUZ1	1	1	0.000	0.000	0.000					
12		HRUBOUACINUZ2	1	1	0.000	0.000	0.000					
13		FINISHING_C2 A	1	1	0.000	0.000	0.000					
14		HRUBOUACÍ NŮŽ	1	1	0.000	0.000	0.000					
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Obr. 6.10 Možnost zadávání korekčních parametrů v prostředí SinuTrain Operate.

6.4 Tvorba NC programu

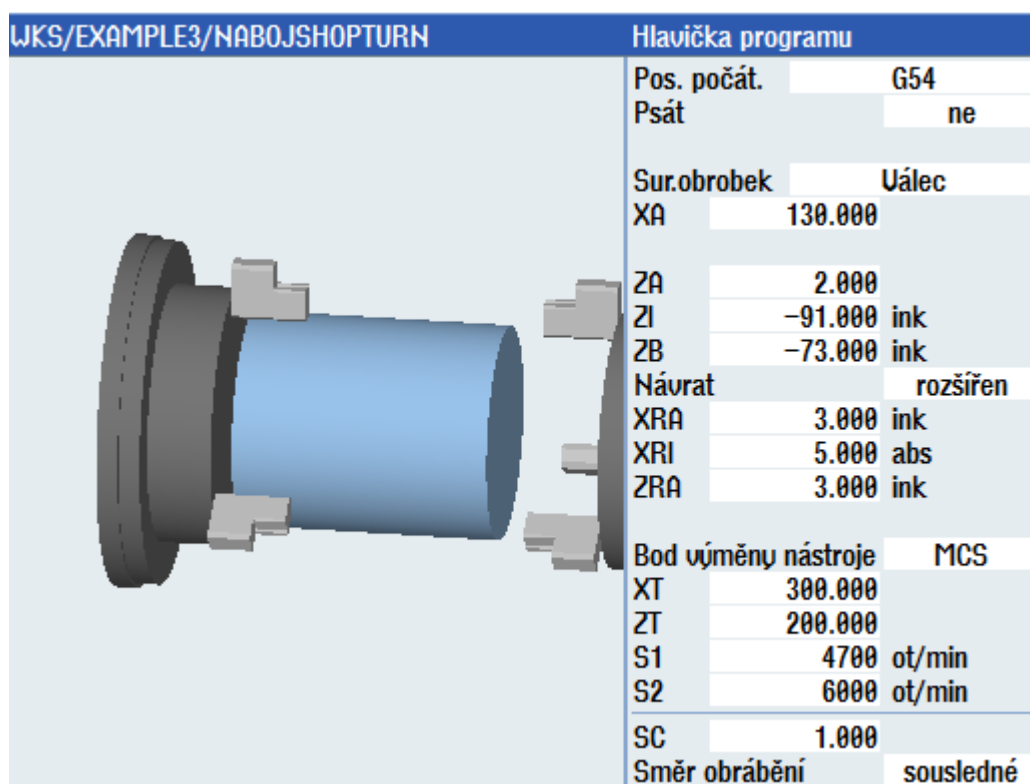
NC program byl sestavený ve dvou variantách. První variantou byl způsob s využitím dílensky orientovaného programování pomocí ShopTurn. Druhou variantou bylo sestavení NC programu s využitím programování podle ISO, tedy využití G-kódu. V předcházejících kapitolách bylo naznačeno, jak probíhá spuštění programu, volba modulu pro tvorbu NC programu, vytváření nových nástrojů a nastavování korekcí, tato podkapitola se zaměří na programování jednotlivých obráběcích kroků.

6.4.1 NC program pomocí dílensky orientovaného programování

Kapitola je zaměřená na programování součásti pomocí ShopTurn. Jedná se o ukázkou jednotlivých obráběcích kroků použitých při programování součástky. Ukázka programu (viz příloha 13).

Hlavička programu [34]

Hlavička programu nese základní informace o tvaru a rozměrech polotovaru, o nastavení návratových rovin, bodů výměny nástroje a omezení otáček vřetena. K definici těchto parametrů se používá grafický modul, ve kterém lze nadefinovat veškeré výše zmíněné parametry (viz obr. 6.11).



Obr. 6.11 Nastavení polotovaru.

Parametry u volby polotovaru a jejich význam [34]:

Pos. počát. – nastavitelné posunutí počátku. Posunutí počátku bylo provedeno pomocí příkazu G54, počátek souřadného systému byl umístěn na vnější okraj polotovaru se středem v ose součásti.

Surový obrobek – volba surového kusu. Lze volit polotovar z předdefinovaných tvarů: válec, kvádr, krychle, trubka, n-úhelník. Zvoleným polotovarem je válec.

Rozměry polotovaru:

XA [mm] – průměr polotovaru. V daném případě se jedná o průměr válcového polotovaru, který byl zvolený jako surový obrobek a jeho průměr je 130 mm.

ZA [mm] – počáteční rozměr polotovaru. Rozměr pro vyjádření velikosti přídavku, který bude odstraněný při zarovnání čela.

ZI [mm] – celková délka polotovaru. Délka přířezu z tyče je 91 mm.

ZB [mm] – obráběný rozměr. Volí se s dostatečným přídavkem, aby při obrábění nedošlo ke kolizi mezi obráběcím nástrojem a sklíčidlem.

Návrat – způsob pozvednutí. Definují se směry, ve kterých má nástroj umožněno najíždět, aby nenastala kolize s obrobkem (obr 6.12).

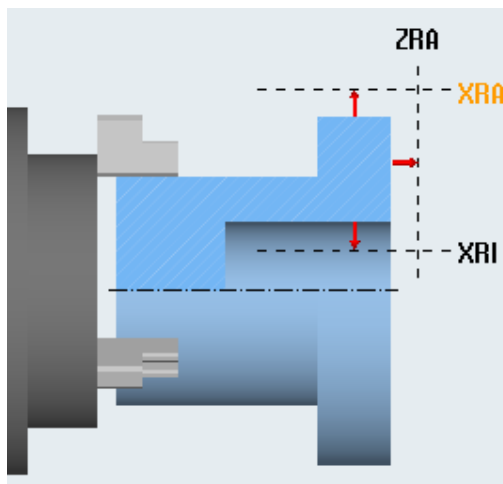
XRA [mm] – návratová rovina x.

XRI [mm] – návratová rovina x pro otvor.

ZRA [mm] – návratová rovina z.

Bod výměny nástroje [mm] – stanovení X a Z souřadnic pro výměnu nástrojů.

S1, S2 [min^{-1}] – omezení otáček hlavního a vedlejšího vřetena. Stanovení maximálních možných otáček.



Obr. 6.12 Návrátové roviny XRA, ZRA, XRI.

Programové bloky

Zadávají se zde definice jednotlivých obráběcích kroků. Jedná se o sestavení kontury popisující tvar součásti. Po sestavení kontury se definují způsoby oddělování třísek hrubovacími nebo dokončovacími operacemi. Mezi další operace patří možnost použití vrtacích cyklů v ose součásti a mimo osu součásti, řezání závitů a další.

- **Kontura a oddělování třísky**

Použitím příkazu kontura a příkazu oddělování třísky lze dosáhnout požadovaného tvaru obráběné součásti. Příkazem kontura nadefinujeme tvar součásti a v příkazu oddělování třísky stanovíme parametry obrábění. Konturu lze sestavit na základě výkresové dokumentace v grafickém editoru (viz obr. 6.13). Kontura se skládá z jednotlivých konturových prvků, mezi které patří svislá přímka, vodorovná přímka, diagonální přímka, kruh nebo kruhový oblouk. Jedna definovaná kontura musí být tvořena minimálně dvěma a maximálně 250 prvky. Při dosazování parametrů konturových prvků se v okně na displeji graficky vykresluje vytvářená kontura. Kódy vytvořené pomocí editoru kontura se nesmí manuálně upravovat. Zpětný překlad manuálně upravené kontury již není možný [3]. Po vytvoření kontury se použitím příkazu oddělování třísky dosáhne požadovaného tvaru součásti.

Při volbě způsobu oddělování třísky lze volit z obrábění na hrubo nebo načisto.

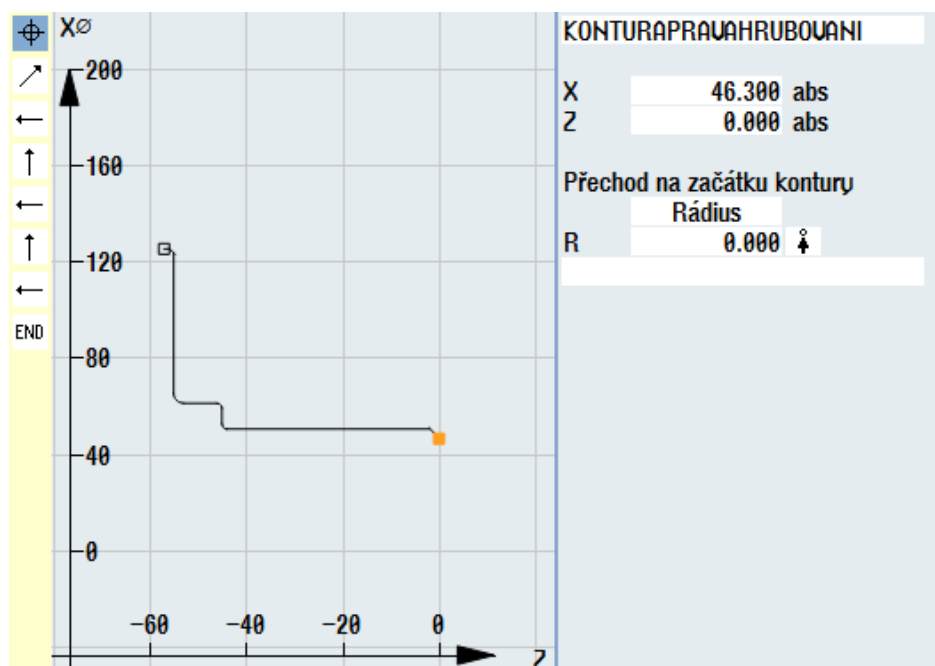
- **Obrábění nahrubo**

Při obrábění nahrubo je materiál odebírán rovnoběžně s osou až k zadanému přídavku pro opracování načisto (viz obr. 6.14). V případě, že máme zadané pouze hrubovací soustružení bez soustružení načisto, odebere se materiál až na konečnou konturu. Systém ShopTurn sám přepočítává a zmenšuje naprogramovanou hloubku přísluvu, aby byly jednotlivé průchody nástrojů konstantní. Při zadání hloubky přísluvu 4 mm a celkové hloubce odebíraného materiálu 9 mm, systém zmenší hloubku přísluvu na 3 mm

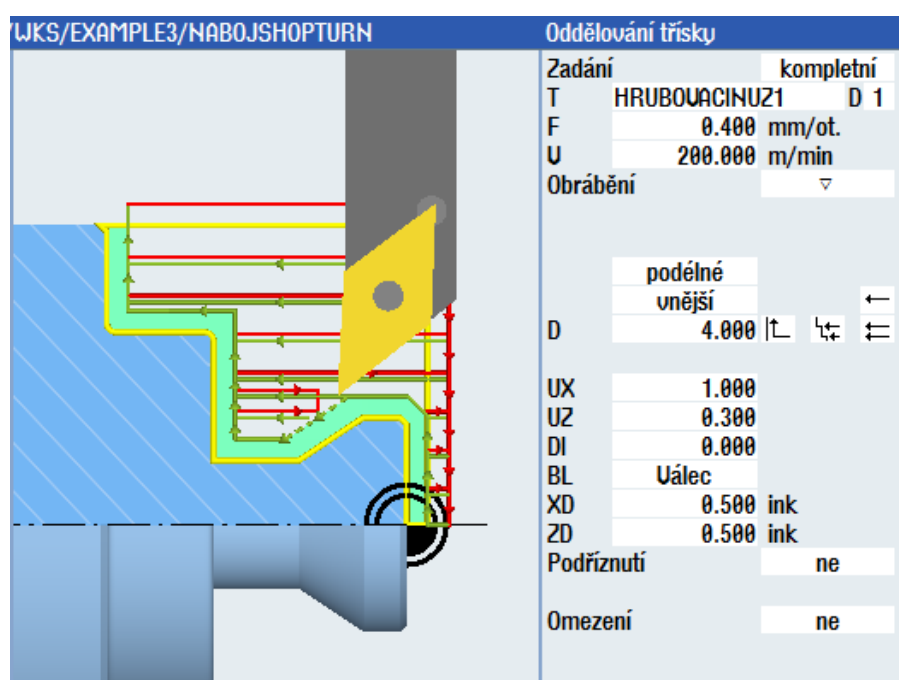
a úběr třísky tak proběhne na 3 průchody nástroje o stejné velikosti hloubky přísuvu. Po dokončení požadované kontury nástroj odjede od obrobku rychloposuvem o bezpečnou vzdálenost [34].

- Obrábění načisto

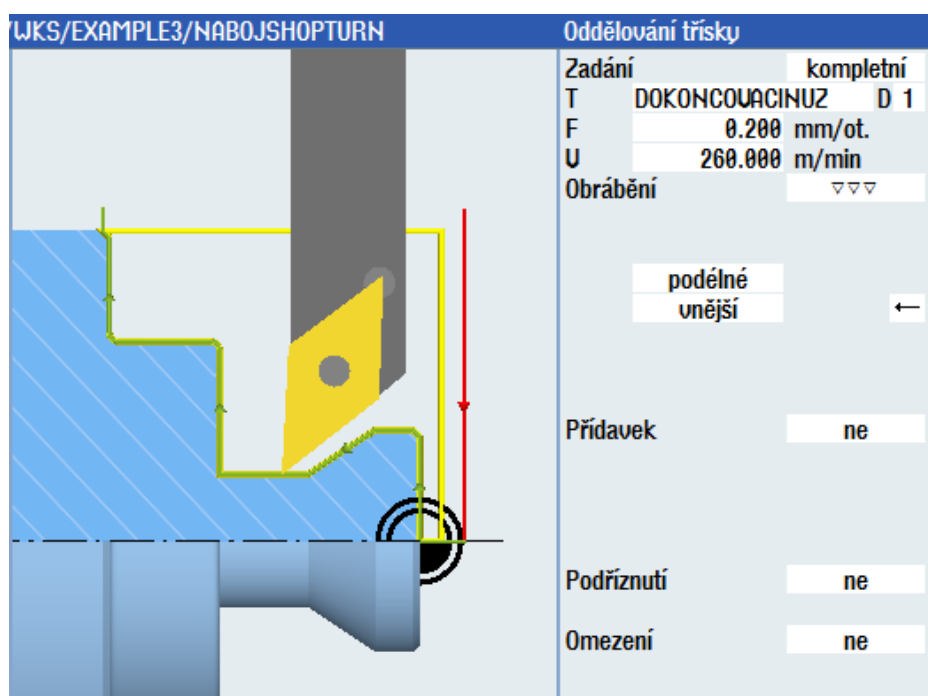
Obrábění načisto odebírá přídavek ponechaný při obrábění nahrubo ve stejném směru jako obrábění nahrubo (viz obr. 6.15). Systém je schopný při obrábění načisto sám aktivovat a deaktivovat korekce rádiusu nástroje [34].



Obr. 6.13 Sestavení kontury pravé strany součásti.



Obr. 6.14 Příkaz oddělování třísky pro hrubovací operaci.



Obr. 6.15 Příkaz oddělování třísky pro dokončovací operaci.

Parametry definované v příkazu oddělování třísky pro hrubování [34]:

Zadání – volba zadávací masky (kompletní, zjednodušená).

T – volba nástroje. Nástrojem je hrubovací nůž určený k obrobení vnější válcové plochy.

F [mm] – posuv na otáčku, stanovený podle zvolené výměnné břitové destičky a parametrů předepsaných výrobcem.

V [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – nastavení konstantní řezné rychlosti.

Obrábění – proces obrábění: hrubování, dokončování, hrubování + dokončování.

Směr obrábění – podélné, příčné, paralelní s konturou.

Pozice – vnější, vnitřní.

D [mm] – maximální přísuv do hloubky, neboli šířka záběru ostří.

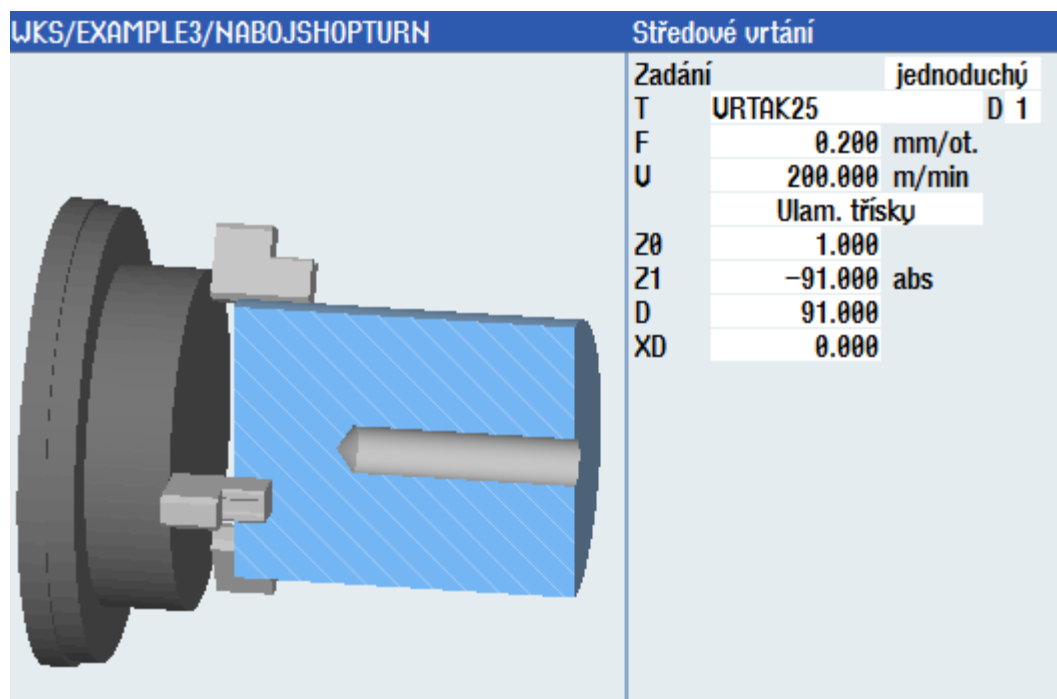
UX [mm] – přídavek v ose x určený pro dokončující operaci.

UZ [mm] – přídavek v ose z určený pro dokončující operaci

Obrázek 6.13 zobrazuje náhled na sestavenou konturu pravé strany součásti odpovídající výkresu (viz příloha 9), která je následně obrobena. Na obrázku 6.14 je příkaz pro proces hrubování. Hrubování je uskutečněno za použití hrubovacího nože PCLNL 3232P-12 a VBD CNMM 120408-NM s řeznými podmínkami odpovídajícími doporučenými řezným podmínkám od výrobce. Přídavek na dokončení UX je ponechán 1 mm, tento přídavek odpovídá možnostem dokončovací destičky DCMT 11T304.

- Vrtání otvoru ležícího v ose – středové vrtání (obr. 6.16)

Jedná se o způsob vrtání, při kterém má být vyvrtán otvor v čelní ploše obrobku. Při aktivaci vrtacího cyklu nástroj najede rychloposuvem automaticky na naprogramovanou pozici s přídavkem pro zajištění bezpečné vzdálenosti. Nástroj dle příkazu Z1 vrtá do požadované hloubky předepsaným pracovním posuvem a předepsanou řeznou rychlostí. Po vyvrtání otvoru nástroj realizuje rychloposuvem návrat do bezpečné vzdálenosti [34, 82]. Při vrtání si můžeme zvolit způsob odstraňování třísek z řezu. Prvním způsobem je odstraňování třísky jejím ulamováním a druhým způsobem je odstranění třísek vyjetím nástroje z obrobku. V NC programu byla vrtána středová díra o průměru 25 mm vrtákem s výměnnými břitovými destičkami. Způsob odstraňování třísek nebyl použitý, neboť u zvoleného vrtáku není nutné lámat třísku.



Obr. 6.16 Středové vrtání.

Parametry definované při středovém vrtání:

Zadání – volba zadávací masky (kompletní, zjednodušená).

T – volba nástroje. Nástrojem je vrták s VBD.

F [mm] – posuv na otáčku, stanovený podle zvolené výměnné břitové destičky a parametrů předepsaných výrobcem.

V [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – nastavení konstantní řezné rychlosti.

Obrábění – odstraňování třísky, ulamování třísky.

Z0 [mm] – vztažný bod.

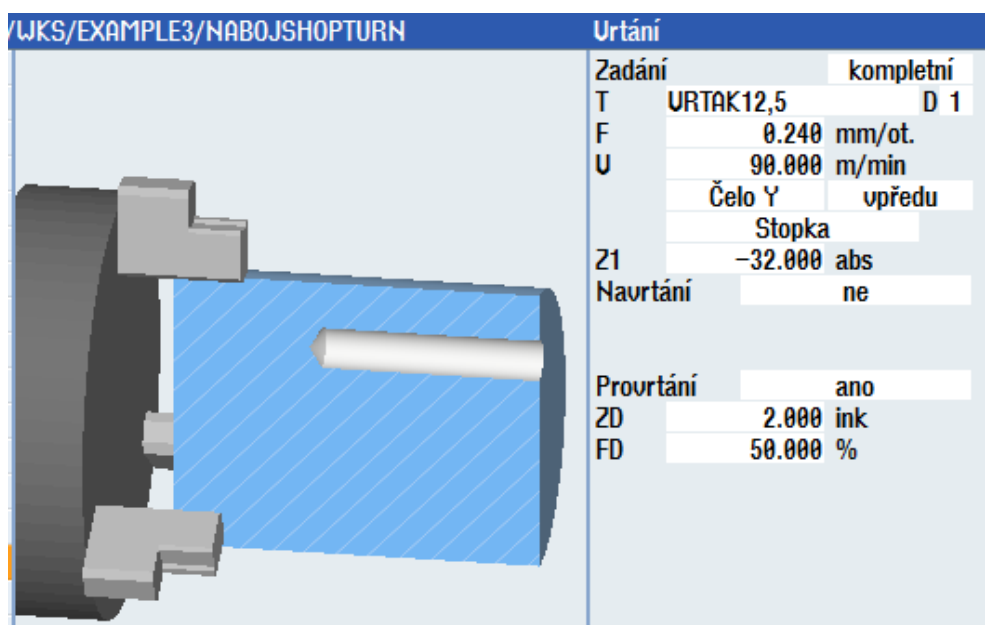
Z1 [mm] – koncová hloubka vrtání.

D [mm] – první hloubka vrtání.

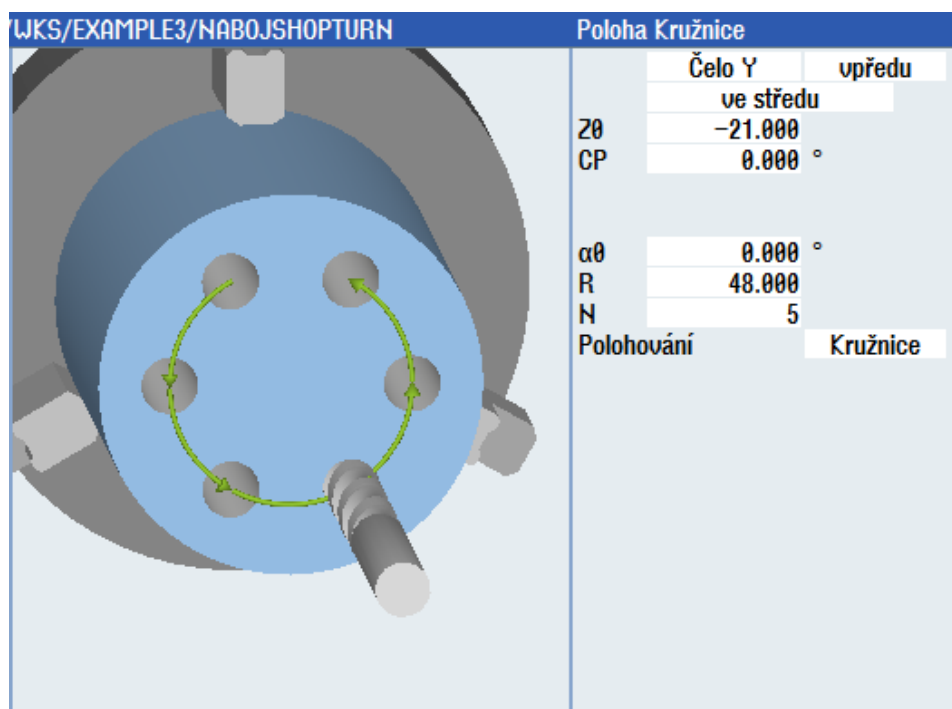
XD [mm] – posunutí středu.

- Vrtání děr ležících mimo osu součásti

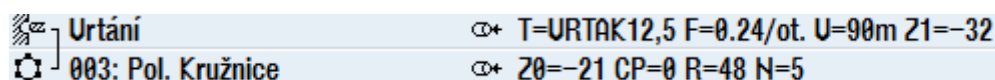
Při programování vrtání děr ležících mimo osu obráběné součásti musíme nastavit polohový vzor těchto děr. Jedná se o informace o poloze děr, o roztečné kružnici, počtu děr a svíraném úhlu (viz obr. 6.18) [82]. Při vrtání s využitím polohového vzoru nástroj postupně najíždí na všechny programované pozice a samotný vrtací proces začne v definovaném vztažném bodě (viz obr. 6.17). Následně lze provést obrábění ve všech definovaných polohách dalším nástrojem [34].



Obr. 6.17 Vrtání v SinuTrain Operate.



Obr. 6.18 Polohový vzor v SinuTrain Operate.



Obr. 6.19 Pracovní plán sloužící k vrtání děr ležících mimo osu součásti.

Parametry definované v polohovém vzoru:

Čelo – obráběná plocha, její pozice a umístění poloh.

PL – zvolení roviny obrábění.

Z0 [mm] – vztažný bod z.

CP [°] – polohovací úhel pro oblast obrábění.

α_0 [°] – počáteční úhel pro první polohu.

R [mm] – poloměr roztečné kružnice.

N – počet poloh.

Polohování – pohyb při polohování možný po přímce nebo po kružnici.

Na obrázku 6.19 je ukázka pracovního plánu, ve kterém bylo nastavené vrtání otvorů. První příkaz popisuje vrtání díry o průměru 12,5 mm. Propojením s polohovým vzorem se vrtání uskuteční na roztečné kružnici s poloměrem 48 mm. Počet vrtaných děr v polohovém vzoru je 5, parametry těchto děr byly nastavené v příkazu vrtání (viz obr. 6.17).

- Vrtání závitů

Funkce určená k vrtání vnitřních závitů na čelní nebo válcové ploše. Nástroj najíždí rychlým posuvem na programovanou pozici s ohledem na bezpečné vzdálenosti. Poté nástroj vrtá naprogramovanými otáčkami nebo řeznou rychlostí až na požadovanou hloubku. Po vyvrtání závitu se nástroj vrací obráceným směrem otáček na bezpečnou vzdálenost [34]. Při řezání závitů byl použitý cyklus vrtání závitů. Jednalo se o vrtání závitu závitníkem pomocí vrtacího cyklu do předvrtané díry průměru 5 mm. Závit leží na roztečné kružnici o průměru 96 mm. Stejným způsobem byly vyřezány závity M14 dle výkresu (viz příloha 9).

Parametry definované při vrtání závitů:

T – volba nástroje. Nástrojem je závitník M6.

Tabulka - volba druhu závitu (ISO, Whitworthův, bez závitu, UNC).

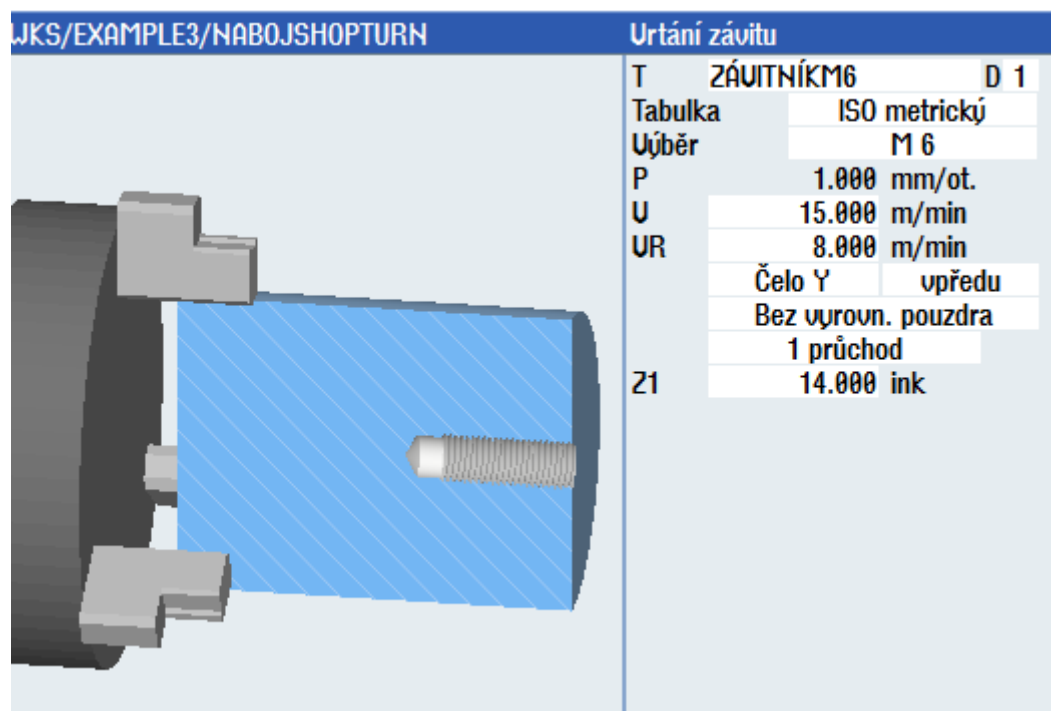
Výběr – volba velikosti závitu z tabulkových hodnot

P – stoupání závitu.

V – nastavení konstantní řezné rychlosti.

VR – konstantní řezná rychlost pro zpětný pohyb [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$].

Z1 – hloubka vrtání [mm].



Obr. 6.20 Vrtání závitů.

- Přepnutí vřetena

Jelikož je soustruh vybavený protivřetenem, umožňuje obrobky opracovávat pomocí funkcí soustružení, vrtání a frézování z pravé i levé strany [34].

Průběh operace při přepnutí součásti do protivřetena (obr. 6.21) [34]:

1) Obrábění v hlavním vřetenu:

- pravá strana součásti se obrobí při upnutí v hlavním vřetenu.

2) Uchopení obrobku protivřetenem:

- hlavní vřeteno s protivřetenem je uvedeno do synchronního provozu,
- protivřeteno najede rychlým posuvem k obrobku na naprogramovanou pozici ZR,
- následuje najetí do pozice pro převzetí Z1 pracovním posuvem a uchopení obrobku.

3) Vytažení obrobku z hlavního vřetena:

- obrobek je vytažen o vzdálenost Z1 z hlavního vřetena.

4) Najetí protivřetena do nové obráběcí polohy:

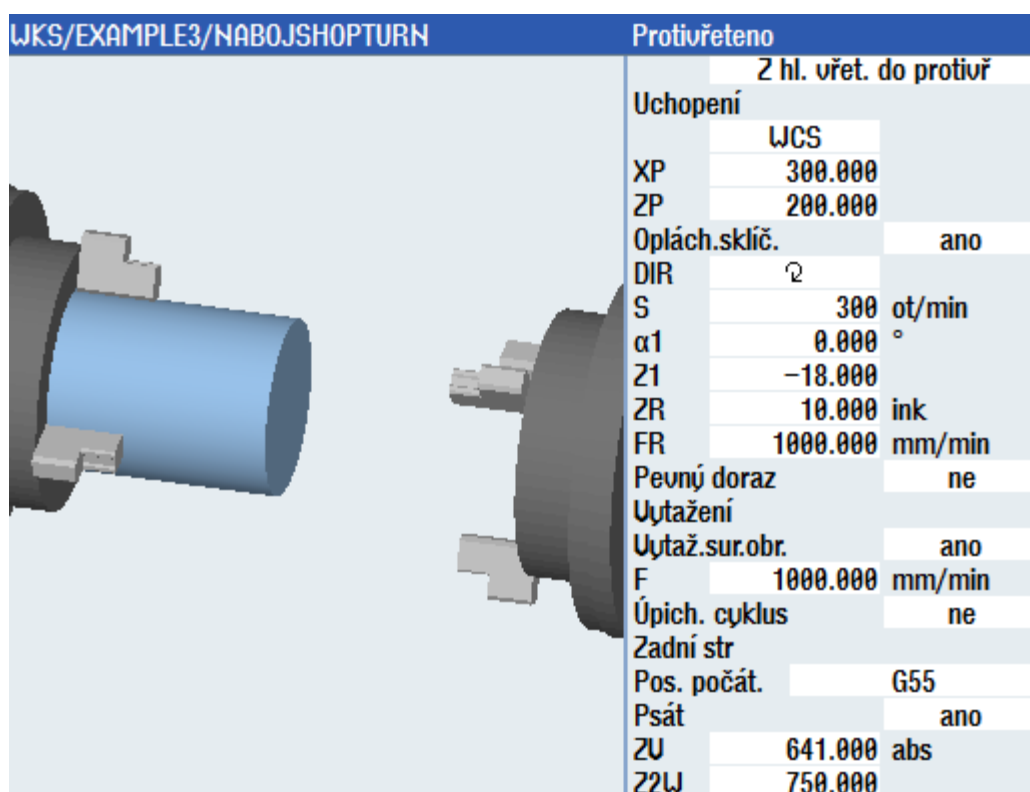
- rychlým posuvem se protivřeteno přesouvá na novou obráběcí pozici.

5) Posunutí počátku:

- počátek souřadného systému obrobku se posune o vzdálenost ZV z pravé strany obrobku na levou stranu, souřadný systém se zrcadlově převrátí pro obrábění levé strany a uloží se.

6) Obrábění s protivřetenem.

Výhodou obrábění s využitím přepnutí do protivřetena je ta, že osa obrobku zůstane stejná a nedojde k jejímu vychýlení oproti upnutí v hlavním vřetenu.



Obr. 6.21 Přepnutí do protivřetena.

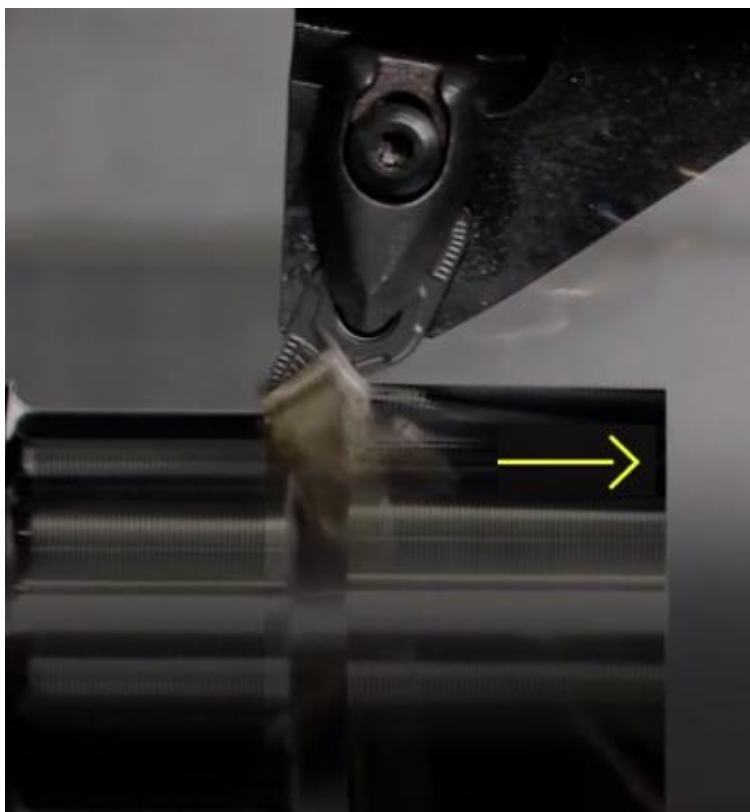
Konec programu – předání informací o ukončení programu obráběcímu stroji [34].

6.4.2 NC program podle ISO pomocí G-kódu a cyklů.

NC program byl také sestavený s využitím geometrických a pomocných funkcí (viz příloha 11) a za pomoci cyklů umožňujících provedení specifikovaných obráběcích procesů. Celý program je rozepsaný v příloze 14. Při sestavování programu pomocí G-kódů a cyklů byly sestaveny dva programy. Jeden program byl sestavený pro výrobu pravé strany součásti v hlavním vřetenu. Druhý program obsahuje data pro výrobu levé strany v protivřetenu. Podprogram pro přepínání obrobku z hlavního vřetena do protivřetena zde nebyl zpracován. Daná verze software SinuTrain V4.7 Ed. 2 Basic přepnutí zapsané v ISO kódu při simulaci nepodporovala.

6.5 Zefektivnění obrábění nahrubo a načisto v NC programu

Pro výrobu součástí by bylo možné použít metodu výroby, která se objevila jako novinka u firmy Sandvik Coromant pod názvem CoroTurn Prime. Jedná se o koncept soustružnického nože umožňujícího obrábění „ve všech směrech“ mnohem efektivněji. Nástroj dokáže pracovat při opačném směru posuvu než stávající soustružnické nože (viz obr. 6.22). Tato metoda slibuje mnohem efektivnější a produktivnější obrábění. Oproti konvenčnímu soustružení probíhá soustružení touto metodou směrem z rohu ven, což eliminuje možnost hromadění třísek, nedochází zde k poškození nástroje a obrobený povrch má vynikající kvalitu. Výměnné břitové destičky mají velmi malé úhly nastavení. Při obrábění vznikají tenké široké třísky, což vede k rozložení zatížení a teplo odchází mimo poloměr špičky. Výměnná břitová destička obsahuje na každém svém rohu 3 řezné hrany. Jednotlivé řezné hrany slouží pro odlišné způsoby obrábění: podélné, čelní, tvarové. Opotřebením se tedy rozloží na větší část břitu [83,84,85]. Nástroje jsou dostupné ve dvou variantách, první variantou je nástroj typu A určený pro dokončovací operace a druhou variantou je nástroj B určený pro hrubovací soustružení. Ukázka výměnných břitových destiček (viz příloha 12).



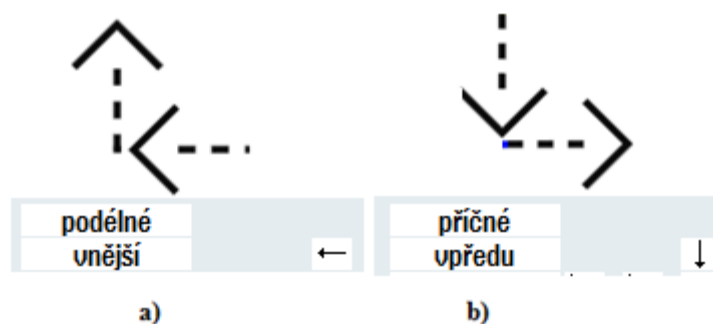
Obr. 6.22 Směr posuvu u metody CoroTurn Prime [85].

Mezi výhody metody udávané výrobcem patří: zvýšení produktivity, soustružení ve všech směrech, vyšší trvanlivost VBD, vyšší řezná rychlost, vyšší rychlost úběru kovu [84].

Hlavní nevýhodou je nutnost přeprogramování stávajícího systému a jeho dovybavení generátorem kódů drah nástroje, aby byla zajištěné dosažení maximální výkonnosti [84].

Ověření použití metody CoroTurn při NC programování v SinuTrain V4.7 Ed. 2

Pro dosažení maximální výkonnosti obrábění při použití metody CoroTurn Prime výrobce doporučuje dovybavení stávajícího řídicího systému speciálním generátorem drah. Generátor drah vytváří programové kódy a pracovní postupy potřebné pro nastavení správných parametrů a proměnných pro danou aplikaci [84]. Možnosti software SinuTrain V4.7 Ed. 2 umožňují i bez aplikace generátoru drah doporučeného firmou Sandvik Coromant vyzkoušet metodu s použitím novinky CoroTurn Prime. Pouhou změnou podélného způsobu obrábění na příčné (viz obr. 6.23) a změnou řezných podmínek lze umožnit obrábění směrem z rohu ven a eliminovat tím hromadění třísek.



a) směr obrábění použitý v programu b) směr obrábění dle nové metody

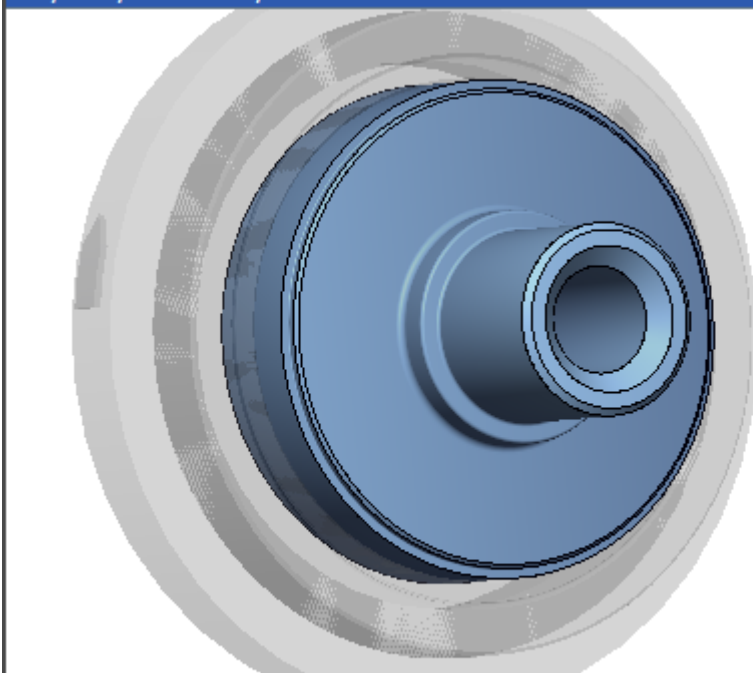
Obr. 6.23 Směry obrábění [83].

Při hrubovací operaci nastal u software SinuTrain V4.7 Ed. 2 problém s generováním drah, úběr třísky probíhá pouze v příčném směru. Tento problém by bylo možné eliminovat dovybavením generátorem drah do řídicího systému. Pro dokončovací operace lze novinku CoroTurn Prime použít i za stávajícího vybavení řídicího systému. Pouhá změna směru obrábění na příčné umožní obrábění součásti v opačném směru posuvu než u konvenčního obrábění.

6.6 Simulace

Jedná se o testování napsaného programu. Ze simulace získáme informace o geometrických nesrovnalostech, o narušení pracovního prostoru a chybně naprogramovaných krocích, které nelze provést. V případě nalezení chyby v programu lze program opravit a chybu odstranit. Použitím simulace lze snížit pravděpodobnost havárie stroje s obrobkem. Předcházíme poškození nebo zničení nástroje, díky simulaci také lze snížit výrobu zmetkových součástí. Řezné podmínky a upínání obrobku nelze objektivně simulovat, je nutné je ověřit v praxi [1]. Následující obrázky 6.17 s 6.18 ukazují tvar součásti po jednotlivých obráběcích operacích. Obr. 6.17 zobrazuje tvar součásti po obrobení pravé strany, následně je součást přepnuta do protivřetena a obrobená v protivřetenu na konečný tvar (viz obr. 6.18).

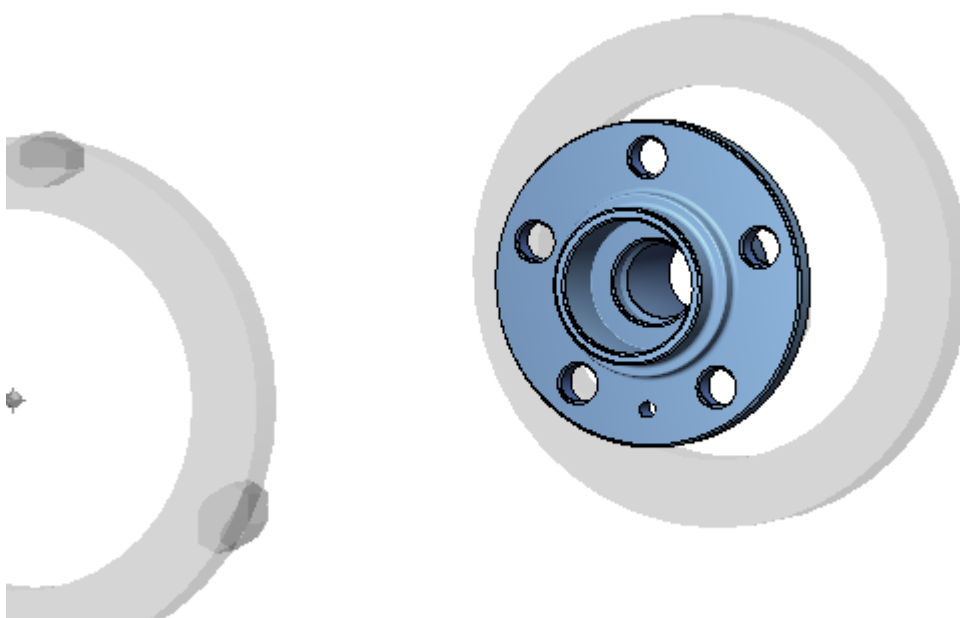
NC/WKS/EXAMPLE3/NABOJSHOPTURN




X	300.000	Z	200.000	Y	0.000	S1		T UNITRNIPRAVA	D1
	Protivřeteno		Komp		Z2	750.000	Rychlop.	3%	00:03:46

Obr. 6.17 Grafický výstup simulace po obrobení pravé strany součásti.

NC/WKS/EXAMPLE3/NABOJSHOPTURN



X	600.000	Z	521.000	Y	0.000	S2		T ZÁVITNÍKM6	D1
END	Konec programu					Z2	750.000	Rychlop.	100% 00:10:38

Obr. 6.18 Grafický výstup simulace po obrobení levé strany součásti.

ZÁVĚR

Práce popisuje řídicí systémy používané pro NC programování. Jsou zde popsány základní metody a možnosti NC programování. Byla zpracována řešerše v oblasti materiálů používaných pro výrobu součástky náboj kola osobního automobilu.

V práci byl vytvořen funkční NC program v software SinuTrain 4.7 V Ed. 2 – Basic. NC program byl vytvořen pro výrobu součástky náboj kola osobního automobilu ve dvou variantách, podle ISO programování a pomocí dílenského programování.

Shrnutí dosažených výsledků a závěrů:

- Součást byla navržena s ohledem na její použití a na důležité rozměry.
- Z analýzy chemického složení a analýzy mikrostruktury byly získány informace o stávajícím materiálu. Z poznatků získaných z analýz byla zvoleným materiálem pro výrobu součástky ocel 12 060, která se pro výrobu v současnosti používá. Pro zlepšení mechanických vlastností bylo navrženo normalizační žíhání.
- Vzhledem k rotačnímu tvaru součástky, a nutnosti obrábění z obou stran byl zvolený CNC soustruh SP 280 SY od firmy KOVOSVIT MAS, a.s.
- Nástrojové vybavení bylo použito od firmy ISCAR a NC navrtávák od firmy StimZet.
- Byl ověřen celkový výkon obráběcího stroje potřebný pro pokrytí řezného výkonu. Nejvyšší celkový výkon obráběcího stroje potřebný pro pokrytí řezného výkonu při hrubovacím obrábění v hlavním vřetenu byl 19,78 kW a ve vedlejší vřetenu 7,4 kW. Výkon hlavního vřetena i vedlejšího vřetena stroje při obráběcích operacích dané součástky dostačuje.
- NC program byl vytvořen podle ISO kódu a pomocí dílensky orientovaného programování.
- Doba obrábění získaná z NC programu vytvořeného pomocí ShopTurn v software SinuTrain 4.7 V Ed. 2 – Basic byla 10 min 38 s.
- Program podle ISO kódu byl sestaven na dvě části. První programu slouží k obrobení pravé strany součástky a druhý program pro obrobení levé strany součástky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [2] SIEMENS. *Řídicí systémy SINUMERIK* [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=3c76394997&ctxp=home>
- [3] SIEMENS. *SINUMERIK 840D/810D: HMI Embedded Návod k obsluze*, Vydání 03/2004.
- [4] SIEMENS. *Řídicí systémy SINUMERIK 808* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=ade03435f6&ctxp=home>
- [5] SIEMENS. *SINUMERIK 808D* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/mc-systems/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/sinumerik-808/sinumerik-808d/Pages/sinumerik-808d.aspx#Description>
- [6] SIEMENS. *SINUMERIK 808D ADVANCED* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=fbc481293&ctxp=home>
- [7] SIEMENS. *Řídicí systémy SINUMERIK 828* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=9eafa5071&ctxp=home>
- [8] SIEMENS. *SINUMERIK 828D BASIC M* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=22c4274c04&ctxp=home>
- [9] SIEMENS. *SINUMERIK 828D* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=64dafbaca0&ctxp=home>
- [10] SIEMENS.: *Announcement phase-out SINUMERIK 840D* [online], [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/88631165/announcement-phase-out-sinumerik-840d?dti=0&pnid=14596&lc=en-WW>
- [11] SIEMENS. *Řídicí systémy SINUMERIK 840D sl* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=8af9163077&ctxp=home>
- [12] SIEMENS. *Nízkonapěťové měniče Sinamics S120* [online], [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=507f00e632>
- [13] FANUC. *Historie Fanuc* [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/fanuc-historie>
- [14] FANUC. *CNC řízení* [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/%C5%99%C3%ADzen%C3%AD>
- [15] FANUC. *FANUC CNC Europe: ČVUT přednáška* [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: http://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/NCR_dopl/FANUC_CVUT_2010_04.pdf
- [16] FANUC. *FANUC Series 30i/31i/32i/35i-MODEL B* [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: http://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/fs_30i-b.html
- [17] FANUC. *FANUC Series 0i-MODEL F* [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: http://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/fs_0i-f.html

- [18] HEIDENHAIN. *Historie* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/historie/
- [19] HEIDENHAIN. *Heidenhain dnes* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/heidenhain-dnes//
- [20] HEIDENHAIN. *Opce a příslušenství* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/827222-C2.pdf>
- [21] HEIDENHAIN. *Příručka pro obsluhu TNC124* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC124/bhb/284_679-83.pdf
- [22] HEIDENHAIN. *TNC128* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-128/
- [23] HEIDENHAIN. *TNC310* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC300/286140-xx/bhb/331_645-81.pdf
- [24] HEIDENHAIN. *TNC320* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-320/
- [25] HEIDENHAIN. *iTNC530* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/itnc-530/
- [26] HEIDENHAIN. *TNC620* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-620/
- [27] HEIDENHAIN. *TNC640* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-640/
- [28] POLZER, Aleš, *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění: Akademie CNC obrábění (14)* [online], 2009. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-14_8549.html
- [29] POLZER, Aleš, *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění: Akademie CNC obrábění (4)* [online], 2009. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-4_8539.html
- [30] POLZER, Aleš, *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění: Akademie CNC obrábění (3)* [online], 2009. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-3_8538.html
- [31] POLZER, Aleš, *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění: Akademie CNC obrábění (40)* [online], 2009. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-40_8575.html
- [32] SIEMENS. *SINUMERIK 840D/840Di/810D: Programming Guide Cycles*, Vydání 11/2002.
- [33] Technický týdeník. *SINUMERIK 840D sl & SINAMICS – komplexní CNC řešení* [online], 2013. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z:

http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/sinumerik-840d-sl-sinamics-komplexni-cnc-reseni_21942.html

[34] SIEMENS. *SINUMERIK 840D sl: Obsluha/programování ShopTurn*, Vydání 01/2008. Dostupné také z:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/059/28739059/att_108877/v1/BATsl_0108_cz.pdf

[35] SIEMENS. *SINUMERIK 840D sl: Obsluha/programování ShopMill*, Vydání 01/2008. Dostupné také z:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/039/28739039/att_54131/v1/BASsl_0108_cz.pdf

[36] SIEMENS. *SINUMERIK 840D/840Di/810D: Pro pokročilé: Příručka programování*, Vydání 03/2004.

[37] SIEMENS. *SINUMERIK 840Dsl/828D Pro pokročilé: Příručka programování*, Vydání 09/2011. Dostupné také z:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/761/57038761/att_76028/v1/PGA_0911_cz_cs-CZ.pdf

[38] DASHÖFER HOLDING, Ltd. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty: Materiálový list oceli 12 060* [počítačový software, dostupný v Areálové knihovně FSI]. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, 2017 [cit. 2017-09-05]. Dostupné také z:

<https://www.dashofer.cz/>

softwarovy-lexikon-kovu-se-zahranicnimi-ekvivalenty-productlkv/

[39] KAŇA Václav: Informace na téma Analýza chemického složení [analýza, rozhovor] dne 18. 4. 2017.

[40] JULIŠ Martin: Informace na téma Analýza mikrostruktury [analýza, rozhovor] dne 4. 5. 2017.

[41] MACHEK, Václav a Josef KOCHMAN, 2013. *Kovové materiály I: struktury kovových materiálů*. V Praze: České vysoké učení technické. Technický průvodce. ISBN 978-800-1052-488.

[42] PTÁČEK, Luděk, 2002. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM. ISBN 80-720-4248-3.

[43] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN, 1990. *Části strojů*. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. Technický průvodce. ISBN 80-030-0426-8.

[44] DASHÖFER HOLDING, Ltd. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty: Materiálový list oceli 11 600* [počítačový software, dostupný v Areálové knihovně FSI]. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, 2017 [cit. 2017-09-05]. Dostupné také z:

<https://www.dashofer.cz/>

softwarovy-lexikon-kovu-se-zahranicnimi-ekvivalenty-productlkv/

[45] DASHÖFER HOLDING, Ltd. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty: Materiálový list oceli 12 050* [počítačový software, dostupný v Areálové knihovně FSI]. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, 2017 [cit. 2017-09-05]. Dostupné také z:

<https://www.dashofer.cz/>

softwarovy-lexikon-kovu-se-zahranicnimi-ekvivalenty-productlkv/

- [46] DASHÖFER HOLDING, Ltd. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty: Materiálový list oceli 13 240* [počítačový software, dostupný v Areálové knihovně FSI]. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, 2017 [cit. 2017-09-05]. Dostupné také z: <https://www.dashofer.cz/software/lexikon-kovu-se-zahranicnimi-ekvivalenty-productlkv/>
- [47] VLK, František, 2000. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola : zavěšení kol, nápravy : odpružení : řídicí ústrojí : brzdové soustavy*. Brno: VLK. ISBN 80-238-5274-4.
- [48] NĚMEČEK, Pavel, 2009. *Kolové dopravní a manipulační stroje I: Zavěšení kol*. TU v Liberci - Fakulta strojní - Katedra vozidel a motorů. Dostupné z: http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/Kdms1/5-Zaveseni_kol.pdf
- [49] SKF. *Hnací hřídel* [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/industry-solutions/two-three-wheelers/applications/transmission/drive-shaft/index.html>
- [50] AutoPROFITEAM. *APM Automotive: Podvozkové centrum APM Bilstein - 7. díl: Kola (náboje kol)* [online], [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=668>
- [51] AUTONET. *2.5 Upevnění kola na náboj* [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://net-auto.cz/moodle/mod/resource/view.php?r=129>
- [52] AUTONET. *Funkce a seřizování kotoučových brzd: 4.6.2 Brzdové kotouče – opravy*, [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://net-auto.cz/moodle/mod/resource/view.php?id=239>
- [53] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, ISBN 978-80-7204-839-7.
- [54] SKF. *Angular contact ball bearings, double row, SKF* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/double-row-angular-contact-ball-bearings/double-row/index.html?designation=3310%20A>
- [55] SKF. *Doporučená uložení, SKF* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/application-of-bearings/radial-location-of-bearings/selection-of-fit/recommended-fits/index.html>
- [56] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ, 2011. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 4. Brno: CERM. ISBN 978-807-2047-512.
- [57] SKF. *Drnost povrchu úložných ploch ložisek, SKF* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/design-considerations/radial-location-bearings/surface-roughness-of-seats/index.html>
- [58] ČSN 01 4950. *Evolventní drážkování*, 1962. Praha: Český normalizační institut.
- [59] KOČMAN, Karel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ, 2011. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-807-2047-222.

- [60] FS Kladno. *Prodej oceli* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.fskladno.cz/prodej-oceli>
- [61] PROKOP, Jaroslav, 2016. *Technologická příprava výroby: Presentace: 11. Příprava polotovarů pro obráběcí provozy*. Brno.
- [62] PEGAS – GONDA. *POLOAUTOMATICKÁ PILA: 230x280 SH-LR* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/pasova-pila-na-kov-230x280_237.htm
- [63] PEGAS – GONDA. *POLOAUTOMATICKÁ PILA: 230x280 SH-LR: Data ke stažení - Technická data - CZ* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/pily_data/pdf/td/1_cz_230x280-sh-lr.pdf
- [64] KOVOSVIT MAS. *SP 280* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-280-p6.html#main>
- [65] KOVOSVIT MAS. *CNC SOUSTRUHY SP 280* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.com/upload/products/pdf/sp-280-1446197735.pdf>
- [67] KOVOSVIT MAS. *SP 280 - Příslušenství* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-280-p6.html#accessories>
- [68] KOCMAN, Karel, 2005. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-3068-0.
- [69] Stránský a Petržík. *Obrázky EASTAR Řada TS* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.stranskyapetrzik.cz/stroje/eastar/ts/>
- [70] Stránský a Petržík. *Obrázky EASTAR Řada TS Vybavení* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.stranskyapetrzik.cz/stroje/eastar/ts/ts-vybaveni/>
- [71] BOUKAL. *Brusky na kulato* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://shop.boukal.cz/kovoobrabeci-stroje/univerzalni-hrotova-bruska-bernardo-urs-500-n-s-digit-odmerovanim/>
- [72] PEGAS. *BIMETALOVÉ A KARBIDOVÉ PILOVÉ PÁSY HONSBURG* [online], [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.pegas-gonda.cz/cz/honsberg.htm>
- [73] ISCAR. *Cutting Tools: Elektronický katalog* [online], [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx?rst=1>
- [74] StimZet. *Středící vrtáky ZVSE 221185* [online], [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/zvse221185_cz.html
- [75] ČSN 22 2580. *Obrážecí kotoučové nože na evolventní ozubení s přímými zuby se stopkou*, 1981. RVHP.
- [76] NORTON. *Keramické brousící kotouče* [online], [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.oblibene.biz/userdata/shopping/brusiv/file/2012/KeramikaSG.pdf>
- [77] DE VOS, Patrick a Jan-Eric STÅHL. *Obrábění kovů: teorie v praxi*. Lund : Fagersta: Division of Production and Materials Engineering, Lund University ; Seco Tools AB, 2014, 184 stran : barevné ilustrace, fotografie.

[78] HUMÁR, Anton. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Technologie I.: Technologie obrábění - 1. část. Brno, 2003.

Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf

[79] GARANT. *Příručka obrábění*. 2006, 641 s.

[80] ISCAR. *Machining power* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z:

<http://mpwr.iscar.com/machiningpwr/machiningpower.wgx?vwginstance=070a9b94ffde4c67b807949bbd458317>

[81] SIEMENS. *SINUMERIK 840Dsl/828D Základy: Programovací příručka*, Vydání 03/2010. Dostupné také z:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/635/28705635/att_75725/v1/PG_0310_cs_cs-CZ.pdf

[82] POLZER, Aleš, *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění (25)* [online], 2010. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-25_8560.html

[83] SandvikCoromant. *Znovuzrozené soustružení* [online], [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/campaigns/coroturn-prime/prime/assets/infographic-cs.pdf>

[84] SandvikCoromant *CoroTurn* [online], [cit. 2017-05-13]. Dostupné z:

http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coroturn_prime/Pages/default.aspx

[85] SandvikCoromant *Koncepce CoroTurn* [online], [cit. 2017-05-13]. Dostupné z:

<http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/campaigns/primeturning/pages/default.aspx>

[86] SIEMENS. *NÁVOD K POUŽÍVÁNÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉHO SOUSTRUHU SP180/280: Obsluha stroje*.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované kreslení)
CAM	Computer Aided Manufacturing (počítačem podporovaná výroba)
CNC	Computer Numerical Control (počítačem číslicově řízený)
CVD	Chemical Vapor Deposition (chemická depozice z plynné fáze)
ČSN	Československá státní norma
DIN	Německá průmyslová norma
HB	Tvrдость podle Brinella
HSC	High Speed Cutting (vysokorychlostní obrábění)
HRC	Tvrдость podle Rockwella
HSS	High Speed Steel (rychořezná ocel)
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci (Internacional Organisation of Standardization)
NC	Numerical Control (číslicově řízené)
PLC	Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)
PVD	Physical vapor deposition (nanášení odpařením)
ŘS	řídící systém
VBD	výměnná břitová destička
min	minuta
s	sekunda

Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
F_c	[N]	řezná síla
P	[kW]	potřebná celková energie obráběcího stroje potřebná k pokrytí řezného výkonu
P_{vh}	[kW]	výkon hlavního vřetena
Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka

R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
Z_φ	[mm]	přídavek na průměr
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
d	[mm]	průměr hotového obrobku
d_{polot}	[mm]	průměr polotovaru
f	[mm]	posuv
h	[mm]	tloušťka třísky
k_c	[N·mm ²]	měrná řezná síla
k_{c1.1}	[N·mm ²]	specifická řezná síla
m_c	[-]	tangenta úhlu strmosti
v_c	[mm·min ⁻¹]	řezná rychlost
γ_o	[°]	úhel čela
η	[-]	mechanická účinnost obráběcího stroje
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
λ_s	[°]	úhel sklonu břitu

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|------------|---|
| Příloha 1 | Analýza chemického složení materiálu náboje kola osobního materiálu z přístroje Q4 TASMAN |
| Příloha 2 | Snímky z analýzy mikrostruktury |
| Příloha 3 | Kuličkové ložisko od SKF |
| Příloha 4 | Parametry poloautomatické pily PEGAS 230x280 SH-LR |
| Příloha 5 | Technické parametry stroje SP 280 SY |
| Příloha 6 | Výkonnostní charakteristiky vřeten |
| Příloha 7 | Parametry manuální obrázečky Model TS-200K |
| Příloha 8 | Parametry univerzální hrotové brusky Bernardo URS 500 N s digitálním odměřováním |
| Příloha 9 | Výkres součásti |
| Příloha 10 | Technologický postup |
| Příloha 11 | Přehled funkcí použitých při sestavování NC programu |
| Příloha 12 | Ukázka destiček pro metodu PrimeTurning a rozsah řezných parametrů |
| Příloha 13 | NC program v ShopTurn |
| Příloha 14 | NC program v G-kódu |
| Příloha 15 | Simulace obrábění |

PŘÍLOHA 1

Analýza chemického složení materiálu náboje kola osobního materiálu z přístroje Q4 TASMAN [39].

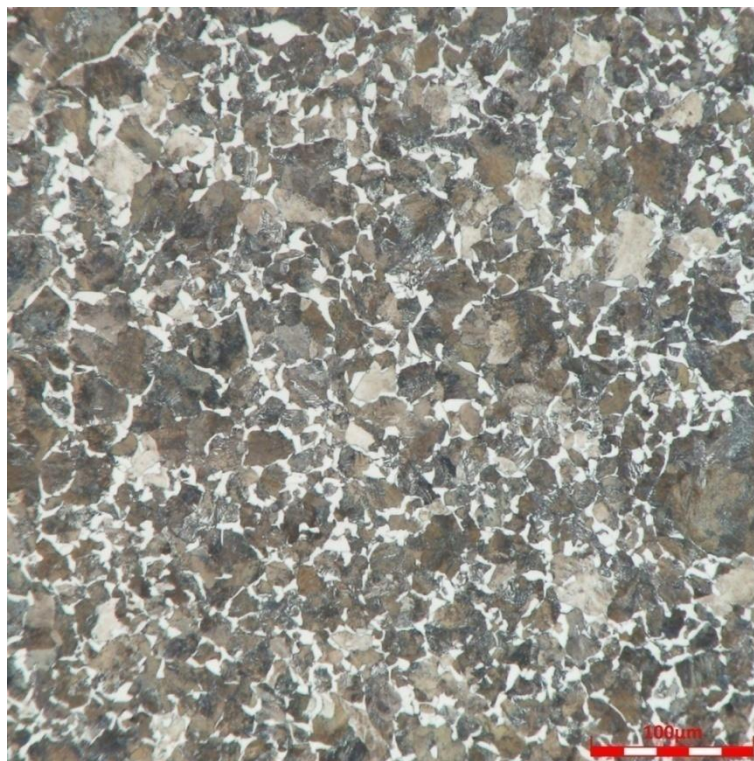
11.4.2017 13:01:00

Atest - Q4 TASMAN

		Popis vzorku									
SampleNo		Juliš - náboj kola									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	As
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
□		0.583	0.291	0.788	0.0033	0.0039	0.121	0.027	0.106	0.185	0.0084
σ		0.0020	0.0021	0.0031	0.00007	0.00032	0.0010		0.0021	0.0025	0.00007
υ		0.343	0.722	0.393	2.121	8.205	0.826		1.981	1.351	0.833
		Al	Al-sol	B	Bi	Ca	Ce	Co	N	Nb	Pb
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
□		0.033	0.029	<0.00020	<0.0070	<0.00050	0.0031	0.0085	0.012	0.0028	<0.0030
σ		0.00071	0.00071	0.00001			0.00041	0.00042	0.00071	0.00016	
υ		2.152	2.448	5.000			13.23	4.941	5.917	5.714	
		Sb	Sn	Ta	La	Ti	V	W	Zr	Fe	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
□		<0.0050	0.017	<0.030	0.0022	0.0016	0.00086	0.0069	<0.0010	97.75	
σ					0.00029	0.00007	0.00001	0.00080		0.010	
υ					13.18	4.375	1.163	11.59		0.010	

PŘÍLOHA 2

Snímky mikrostruktury, první snímek se zvětšením 600x a druhý se zvětšením 150x [40].



PŘÍLOHA 3

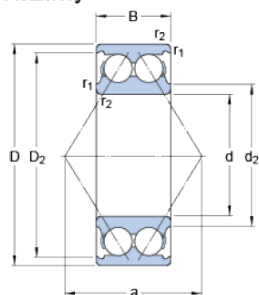
Kuličkové ložisko od firmy SKF [54]

SKF

3310 A

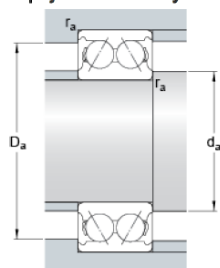
SKF Explorer

Rozměry



d	50	mm
D	110	mm
B	44.4	mm
d ₂	≈ 62	mm
D ₂	≈ 99.45	mm
r _{1,2}	min. 2	mm
a	65	mm

Připojovací rozměry



d _a	min. 61	mm
D _a	max. 99.5	mm
r _a	max. 2	mm

Data výpočtu

Základní dynamická únosnost	C	90	kN
Základní statická únosnost	C ₀	64	kN
Mezní únavové zatížení	P _u	2.7	kN
Referenční otáčky		6000	r/min
Mezní otáčky		6000	r/min
Výpočtový součinitel	k _r	0.07	
Výpočtový součinitel	e	0.8	
Výpočtový součinitel	X	0.63	
Výpočtový součinitel	Y ₀	0.66	
Výpočtový součinitel	Y ₁	0.78	
Výpočtový součinitel	Y ₂	1.24	

Hmotnost











Hmotnost ložiska	1.7	kg
------------------	-----	----

PŘÍLOHA 4

Parametry poloautomatické pily PEGAS 230x280 SH-LR [63].

230 SH-LR

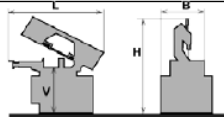


		 0°	 45°	 60°	 45°	 b
	D [mm]	230	190	110	175	x
	D [mm]	150*	110*	80*	110*	x
	axb [mm]	280x180	180x170	105x85	170x120	180x120
	axb [mm]	210x230	170x175	105x85	120x230	180x120

Nejmenší odřezek v automat. cyklu	mm	250
Nejmenší dělitelný průměr	mm	30
Nejmenší zbytek při jednom řezu	mm	60

Pás:	2720x27x0,9
Rychlost pásu:	35/70 m/min
Elektrické zapojení:	400v, 50 Hz
Příkon hlavního motoru:	0,75/1,1 kW
Čerpadlo chladicí emulze:	0,045 kW
Čerpadlo hydrauliky:	0,44 kW

Posuv ramene do řezu	Hydraulicky
Posuv materiálu	Manuálně
Upínání materiálu	Hydraulicky, nastavení čelisti je manuální pomocí páky a trapézového šroubu.
Čistění pilového pásu	Pasivní čistící kartáč
Chlazení	Chladicí systém na emulzi s rozvodem kapaliny do vodítek pilového pásu.

Délka	Šířka	Výška max	Výška min	Výška stolu	
[L]	[B]	[Hmax]	[Hmin]	[V]	
1860	105	1750	1350	795	

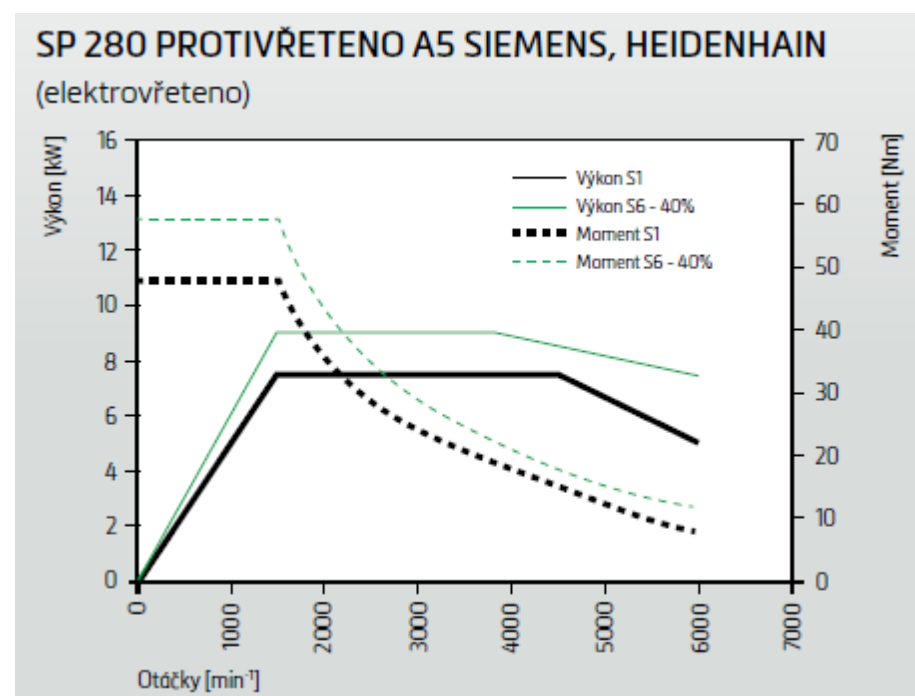
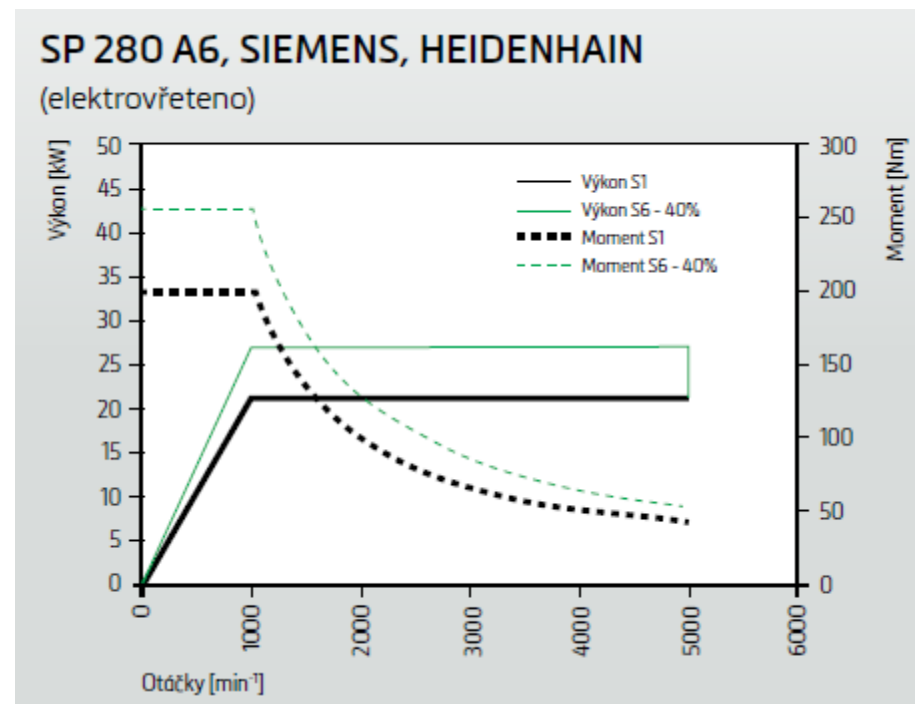
PŘÍLOHA 5

Technické parametry stroje SP 280 SY [65].

Pracovní prostor		
Oběžný průměr nad ložem	570	mm
Max. délka soustružení	450	mm
Max. průměr soustružení	280	mm
Vřeteno		
Elektrovřeteno: A6	4700	min ⁻¹
Protivřeteno: A5	6000	min ⁻¹
Nástrojová hlava		
Počet poloh	12	–
Maximální otáčky nástrojového vřetena	4000	min ⁻¹
Motor vřeten		
Elektrovřeteno – Výkon S1/S6 – 40%	20,9/27	kW
Protivřeteno – Výkon S1/S6 – 40%	7,5/9	kW
Nástrojové vřeteno – Výkon S3 – 40%	8	kW
Rozměry a hmotnost stroje		
Délka x šířka x výška	3875 x 2122 x 2345	mm
Hmotnost	7900	kg

PŘÍLOHA 6

Výkonnostní charakteristiky vřeten [65].



PŘÍLOHA 7

Parametry manuální obrážedky Model TS-200K [69].

Model	TS-200K
Posuvy a vzdálenosti	
Maximální zdvih smýkadla [mm]	200
Počet zdvihů za minutu	N: 26 - 31 - 36 - 46 V: 53 - 62 - 73 - 93
Svislé nastavení smýkadla [mm]	220
Úhel natočení hlavy [°]	±30
Posuv stolu do řezu	manuální
Vzdálenost konce vedení smýkadla od stolu (rozměr A) [mm]	300
Vzdálenost osy nástroje od stojanu (rozměr B) [mm]	355
Stůl	
Průměr pracovního stolu [mm]	400
Podélný posuv stolu (rozměr X) [mm]	250
Příčný posuv stolu (rozměr Y) [mm]	250
Převodový poměr	1:80
Ostatní	
Výkon hlavního motoru (2 rychlosti) [kW]	1,5
Přepravní rozměry [mm]	1250 x 800 x 1670
Hmotnost stroje [kg]	900

PŘÍLOHA 8

Parametry univerzální hrotové brusky Bernardo URS 500 N s digitálním odměřováním [71].

Univerzální hrotová bruska Bernardo URS 500 N

- Max. broušená délka [mm]: 500
- Výška hrotů [mm]: 135
- Vnější průměr broušení [mm]: 8 ÷ 200
- Max. hmotnost obrobku [kg]: 60
- Vnitřní průměr broušení [mm]: 13 ÷ 100
- Max. hloubka broušení [mm]: 125
- Max. rozsah naklápění stolu [°]: +3 / -9
- Max. podélný pohyb stolu [mm]: 600
- Plynulý posuv stolu [m.min⁻¹]: 0,1 ÷ 4
- Max. rychlost posuvu ručním kolečkem [mm.U⁻¹]: 6

Vřeteník

- Otáčky pracovního vřetene [U.min⁻¹]: 25 ÷ 220
- Plynulá regulace: Ano
- Kužel pracovního vřetene: MK 4
- Rozsah naklápění pracovního vřeteníku [°]: 90

Vřeteník brusky

- Velikost brusného kotouče [mm]: 400 x 50 x 203
- Otáčky vřetene [U.min⁻¹]: 1 670
- Otáčky vřetene pro vnitřní broušení [U.min⁻¹]: 20 000
- Rozsah naklápění brusného vřeteníku [°]: ±30
- Délka pojezdu brusné hlavy [mm]: 200
- Dělení stupnice - nonius [mm]: 0,005

Koník

- Kužel koníku: MK 4
- Zdvih pinoly koníku [mm]: 35

Výkony, rozměry a hmotnosti

- Příkon motoru brusného vřetena [W]: 4 000
- Příkon motoru pracovního vřetena [W]: 750
- Rozměry [mm]: 2 150 x 1 450 x 1 700
- Hmotnost [kg]: 2 170

PŘÍLOHA 9

Výkres součásti vložený v klopě desek a na CD.

PŘÍLOHA 10 (1/2)

Technologický postup.

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti : NÁBOJ		Číslo výkresu součásti : 25_2_2017		
Dne : 16.04.2017		Vyhotovil : Král Zdeněk	Kontroloval :	Polotovar : Ø130 × 91 ČSN EN			List číslo:	
Číslo op. pořadové :	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :	Dílna :	Popis práce v operaci :	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky :	Materiál nástroje :	Výrobní podmínky :		
Orientační :	Třídící číslo :					v_c [m/min]	f mm	a_p mm
00/00	Pila Pegas 230x280 SH-LR 05967	Sklad	UPNOUT, ŘEZAT TYČ Ø 130 ČSN EN 10060 NA DÉLKU 91 ± 0,2 mm	PILOVÝ PÁS HONSBURG MASTER M 42 POSUVNÉ MĚŘÍTKO 0 - 150 MM ČSN 25 1238	HSS	50		
01/01	CNC soustruh SP 280 SY Kovosvit MAS 34131	Obrobná	Upnout do sklíčidla za Ø 130, vysunout z hlavního vřetena v délce 60. Vrtat díru v ose součásti Ø 25 v plné délce. Zarovnat čelo na celkovou délku 89. Soustružit na hrubo vnější obrys pravé strany dle výkresu s celkovým přídávkem 1,3 mm. Soustružit načisto vnější obrys pravé strany dle výkresu s přídávkem 0,3 mm pro broušení na Ø 50p6 . Soustružit včetně rádiusu R2 na Ø 61, R1 na Ø 61 a na Ø 50 p6. Srazit hrany 2x45° na Ø 50 p6. Soustružit díru Ø 25 na Ø 28 v plné délce. Srazit hrany 5x45°.	DR 250-100-32-09-4D-T VBD: SOMT 09T306-HD NŮŽ: PCLNL 3225 P-12 VBD: CNMM 120408-NM NŮŽ: SDJCL 2525M-11 VBD: DCMT 11T304 NŮŽ: S16Q-SCLCL 09 VBD: CCMT 09T304-PF	HSS			
						SK	180	0,2
					HSS		200	0,35
						SK	200	0,4
					HSS			
						SK	260	0,2
					HSS			
						SK	160	0,25
02/02	CNC soustruh SP 280 SY Kovosvit MAS 34131	Obrobná	Upnout do pravého vřetena za Ø 50 p6, dorazit na čelo. Zarovnat čelo na celkovou délku 87. Soustružit na hrubo vnější obrys levé strany dle výkresu s přídávkem 1 mm pro dokončení. Srazit hrany 1x45° na Ø 125 a na Ø 60 h7. Soustružit vnitřní díru Ø 28,4, Ø 32 a Ø 51+0,2 včetně sražení 2,5x45°, rádiusu R1 na Ø 32 a na Ø 51. Srazit hrany 1x45° na Ø 51. Vrtat 5 průchozích děr o Ø 12,5 na roztečné kružnici Ø 96. Vrtat díru Ø 5 na roztečné kružnici Ø 96 pro závit M6 dle výkresu.	NŮŽ: PCLNR 3225 P-12 VBD: CNMM 120408-NM NŮŽ: S20-SCLCL-09 VBD: CCMT 09T304-PF DCN 125-037-16A-3D ICP 125 SCDT 050-017-080-M6	HSS		200	0,3
						SK	200	0,3
					HSS			
						SK	160	0,25
					HSS			
						SK	90	0,24
					HSS		65	0,14

PŘÍLOHA 10 (2/2)

Technologický postup.

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP		NÁBOJ		Číslo výkresu součásti :								
Dne : 16.04.2017		Vyhotovil : Král		Kontroloval :		Polotovár : Ø130 x 91 ČSN EN			List číslo:					
Číslo op. pořadové :		Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :		Dílňa :		Popis práce v operaci :		Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky :		Materiál nástroje :		Výrobní podmínky :		
Orientační :		Třídící číslo :										v _c [m/min] f mm a _p mm		
02/02		CNC soustruh SP 280 SY Kovosvit MAS 34131		Obrobna		Soustružit načisto vnější obrys levé strany dle výkresu, včetně rádiusů R2 na Ø 70 h7, R1 na Ø 70 h7. Srazit hrany 1x45° u 5 průchozích děr Ø 12,5 na rozt. kružnici Ø 96. Řezat závit M6x1-6H dle výkresu. Řezat 5 x závit M14x1,5-6H dle výkresu.		NUŽ: SDJCR 2525M-11 VBD: DCMT 11T304 NC navrtávák 90° TPG M-6x1,0-M TPG MF-14x1,5-M		HSS SK SK HSS		260 0,2 1 30 0,25 15 1 15 1,5		
03/03		Obrážka Model TS-200K 5851		Obrobna		Obrážet evolventní drážkování dle ČSN 01 4950.		Nůž 0,8x30°x36x28,8 AA ČSN 22 2580 HSS		HSS				
04/04		Un. Hrotová bruska Bernardo URS 500 N 05521		Obrobna		Upnout do čtyřčelistového sklíčidla, brousit plochu Ø 50 p6 v délce 45.		99A 46 K V 400x50x203				[m/s] 35 4		
05/05		Zámečnická dílna 9421		Obrobna		Celkově odjehlit.		Multi škrabák NOGA RG1000						
06/06		98619		Kontrola		Kontrolovat rozměr šířky drážky náboje. Horní mezní rozměr kontrolovat mezi válečky. Dolní mezní rozměr kontrolovat tvarovými měřidly (trny, kroužky). Kontrolovat drsnost plochy ϕ 50p6. Kontrolovat rozměry Ø 50p6, Ø 70 h7, Ø 60 h7. Kontrolovat rozmístění děr. Kontrolovat závit M14X1,5 a M6X1.		Profiloměr TR100 surface roughness tester Digitální třmenový mikrometr Mitutoyo Digimatic 293-522-30 rozsah 50-75 mm , přesnost 0,001 mm Kmitex závitový kalibr M14x1,5, trn oboustranný. Kmitex závitový kalibr M6x1, trn oboustranný.						

PŘÍLOHA 11

Přehled funkcí použitých při sestavování NC programu

Tab. 6.1 Přípravné (geometrické) funkce [1,86].

Funkce	Význam
G0	Lineární interpolace pomocí rychloposuvu.
G1	Lineární interpolace pomocí pracovního posuvu.
G4	Prodleva.
G17	Určení roviny, ve které probíhají pracovní posuvy a rychloposuvy. Rovina XY.
G18	Určení roviny, ve které probíhají pracovní posuvy a rychloposuvy. Rovina XZ.
G54	Posun nulového bodu.
G71	Programování dráhy v mm.
G90	Popis drah nástroje v absolutních souřadnicích.
G95	Pracovní posuv v mm na otáčku.
G96	Natavení konstantní řezné rychlosti, se změnou průměru se mění otáčky.
G97	Ukončení konstantní řezné rychlosti, nastavení konstantních otáček.

Tab. 6.2 Pomocné funkce [1,86].

Označení funkce	Význam
M0	Zastavení stroje, programu a otáček. Použití v samostatném bloku programu.
M3	Zapnutí otáček vřetene ve směru hodinových ručiček.
M4	Zapnutí otáček vřetene proti směru hodinových ručiček.
M5	Zastavení vřetena.
M6	Výměna nástroje.
M8	Zapnutí chlazení.
M9	Vypnutí chlazení.
M11	Skličidlo levého vřetena uvolnit.
M17	Konec podprogramu.
M21	Skličidlo pravého vřetena uvolnit.
M30	Konec hlavního programu a návrat na jeho začátek.
M97	Potlačení hlídání bezpečnostních funkcí vřeten.
M216	Potvrzení upínací polohy skličidla pravého vřetena.
M217	Potvrzení polohy skličidlo pravého vřetena rozevřeno.
M218	Potvrzení polohy skličidlo pravého vřetena sevřeno
M2=3	Start otáček pravého vřetena CW.
M2=4	Start otáček pravého vřetena CCW.
M2=5	Stop pravého vřetena.

PŘÍLOHA 12

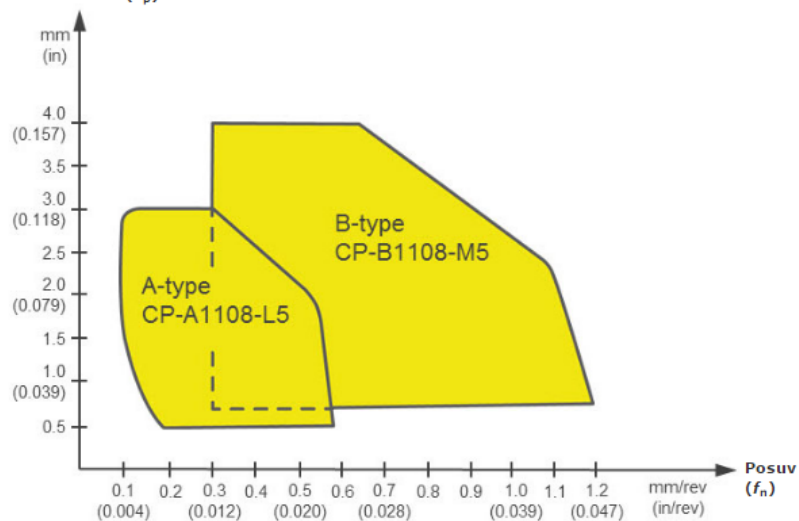
Ukázka destiček pro metodu PrimeTurning a rozsah řezných parametrů [83,84].

Oblast použití



Přípustný rozsah hodnot řezných parametrů pro nástroj typu A a typu B

Hloubka řezu (a_p)



PŘÍLOHA 13

NC program v ShopTurn.

NC/WKS/EXAMPLE3/NABOJSHOPTURN		
P	Hlavička programu	G54 Uálec
	Středové vrtání	T=URTA25 F=0.2/ot. U=200m Z1=-91
	Oddělování třísky	▽▽▽ T=HRUBOUACINUZ1 F=0.35/ot. U=200m příčné
	Kontura	KONTURAPRAVA
	Oddělování třísky	▽ T=HRUBOUACINUZ1 F=0.4/ot. U=200m podélné
	Oddělování třísky	▽▽▽ T=DOKONCOUACINUZ F=0.2/ot. U=260m podélné
	Kontura	KONTRUPRAVAUNITRNI
	Oddělování třísky	▽+▽▽▽ T=UNITRNI PRAVA F=0.25/ot. U=160m podélné
	Protivřetení	Kompletní S1→S2 G55
	Oddělování třísky	▽▽▽ T=HRUBOUACINUZ2 F=0.3/ot. U=200m příčné
	Kontura	KONTURALEVAHRUBOVANI
	Oddělování třísky	▽ T=HRUBOUACINUZ2 F=0.3/ot. U=200m podélné
	Kontura	KONTURALEVAUNITRNI
	Oddělování třísky	▽+▽▽▽ T=UNITRNI LEVA F=0.25/ot. U=160m podélné
	Urtání	⊕ T=URTA12,5 F=0.24/ot. U=90m Z1=-32
	003: Pol. Kružnice	⊕ Z0=-21 CP=0 R=48 N=5
	Urtání	⊕ T=URTA5 F=0.14/ot. U=65m Z1=-32
	005: Pol. Kružnice	⊕ Z0=-21 CP=0 R=48 N=1
	Kontura	KONTURALEVADOKONCOVANI
	Oddělování třísky	▽▽▽ T=DOKONCOUACI2 F=0.2/ot. U=200m podélné
	Navrt. stř. důlků	⊕ T=ZAHlubNIK F=0.25/ot. U=30m Ø16
	Urtání závitů	⊕ T=ZAVITNÍKM14 M14 U=15m Z1=14ink
	008: Pol. Kružnice	⊕ Z0=-21 CP=0 R=48 N=5
	Urtání závitů	⊕ T=ZAVITNÍKM16 M16 U=15m Z1=14ink
	007: Pol. Kružnice	⊕ Z0=-21 CP=0 R=48 N=1
END	Konec programu	
Celkový čas:		10:37.65

PŘÍLOHA 14 (1/3)

NC program v G-kódu. pro obrobení pravé strany součásti.

NC/WKS/NABOJ/NABOJ1STRANA
N10 MSG ("ZAKLADNI NASTAVENI")
N20 G90 DIAMON
N30 G54
N40 G95
N50 G71
N60 G18
N70 UORKPIECE(, , , "CYLINDER", 192, 2, -91, -73, 130)
N80 MSG ("VRTANI DIRY")
N90 T="VRTAK25" D1
N100 G97 S2300 M8 M3
N110 G17 F0.2
N120 G0 X0 Z40
N130 CYCLE83(20, 0, 1, , -91, , 91, 100, 0, 0, 100, 1, 0, 1.2, 1.4, 0, 1.6, 0, 1, 11211
N140 G0 X0 Z50
N150 G0 X140 Z50
N160 MSG ("ZAROVNANI CELA")
N170 G0 X140 Z50
N180 M6 T="HRUBOVACINUZ1" D1
N190 G96 S200 LIMS=4700 M8 M4
N200 G0 X140 Z0
N210 G1 X20 Z0 F0.35
N220 G1 X20 Z10
N230 G0 X140 Z50
N240 MSG ("VNEJSI KONTURA HRUBOVANI")
N250 M6 T="HRUBOVACINUZ1" D1
N260 G96 S200 LIMS=4700 M8 M4
N270 CYCLE62("KONTP", 0, ,)
N280 CYCLE952("KONTP", , "", 1101311, 0.4, 1, 0, 4, 0.1, 0.1, 1, 0.3, 0.1, 0, 1, 0.
N290 G0 X140 Z50
N300 MSG ("VNEJSI KONTURA DOKONCOVANI")
N310 M6 T="DOKONCOVACINUZ" D1
N320 G96 S260 LIMS=4700 M8 M4
N330 CYCLE62("KONTP", 0, ,)
N340 CYCLE952("KONTP", , "", 1101321, 0.2, 1, 0, 0.5, 0.1, 0.1, 0.3, 0.3, 0.1, 0,
N350 G0 X140 Z50
N360 MSG ("VNITRNI SOUSTRUZENI")
N370 T="VNITRNI PRAVA" D1
N380 G96 S160 LIMS=4700 M8 M4
N390 CYCLE62("KONTV", 0, ,)
N400 CYCLE952("KONTV", , "", 1102331, 0.25, 1, 0, 2, 0.1, 0.1, 1, 0.3, 0.1, 0, 1, 0
N410 G0 X140 Z50
N420 G0 X400 Z100
N430 M5 M9
N440 M30

PŘÍLOHA 14 (2/3)

NC program v G-kódu. pro obrobení levé strany součásti.

NC/WKS/NABOJ/NABOJ2STRANA
N10 MSG ("ZAKLADNI NASTAVENI DRUHA STRANA OBROBKU")
N20 G90
N30 G54 TRANS Z=888
N40 G95
N50 G71
N60 G18
N70 UORKPIECE(, , , "PIPE", 4288, 2, -89, -62, 130, 51)
N80 MSG ("ZAROVNANI CELA")
N90 M6 T="HRUBOVACINU22" D1
N100 G96 M2=3 S200 LIMS=6000 M8 M4
N110 G0 X160 Z0
N120 G1 X18 Z0 F0.3
N130 G1 X18 Z-10
N140 G0 X160 Z-50
N150 MSG ("VNEJSI KONTURA HRUBOVANI")
N160 M6 T="HRUBOVACINU22" D1
N170 G96 S200 LIMS=6000 M8 M4
N180 CYCLE62("KONTL", 0, ,)
N190 CYCLE952("KONTL", , , , 1101411, 0.3, 1, 0, 2, 0.1, 0.1, 1, 0.3, 0.1, 0, 1, 0,
N200 G0 X160 Z-50
N210 MSG ("VNITRNI SOUSTRUZENI")
N220 T="VNITRNI LEVA" D1
N230 G96 S160 LIMS=6000 M8 M2=3
N240 CYCLE62("KONTV2", 0, ,)
N250 CYCLE952("KONTV2", , , , 2102431, 0.25, 1, 0, 2.5, 0.1, 0.1, 1, 0.3, 0.1, 0,
N260 G0 X300 Z-50
N270 M2=5 M9
N280 MSG ("VRTANI DER12, 5")
N290 M6 T="VRTAK12, 5" D1
N300 G97 S2300 LIMS=4000 M8 M3=3
N310 G17 F0.24
N320 MCALL CYCLE82(-100, 21, 0, , 33, 0, 10, 0, 11)
N330 HOLES2(0, 0, 48, 72, 30, 5, 1000, 0, , , 1)
N340 G0 X300 Z-50
N350 M3=5 M9
N360 MSG ("VRTANI DER5")
N370 M6 T="VRTAK5" D1
N380 G97 S4000 LIMS=4000 M8 M3=3
N390 G17 F0.14
N400 MCALL CYCLE82(-100, 21, 0, , 33, 0, 10, 0, 11)
N410 DIRY: HOLES2(0, 0, 48, 180, 30, 1, 1000, 0, , , 1)
N420 G0 X300 Z-50
N430 M3=5 M9

PŘÍLOHA 14 (3/3)

NC program v G-kódu. pro obrobení levé strany součásti.

```
N440 MSG ("VNEJSI KONTURA DOKONCOVANI")
N450 M6 T="DOKONCOVACI2" D1
N460 G96 S260 LIMS=6000 M8 M4
N470 CYCLE62("KONTL", 0, , )
N480 CYCLE952("KONTL", , "", 2101421, 0.2, 1, 0, 2, 0.1, 0.1, 0.5, 0.3, 0.1, 0, 1,
N490 G0 X160 Z-50
N500 M5 M9
N510 MSG ("SRAZENI HRAN U DER")
N520 M6 T="ZAHlubNIK" D1
N530 G97 S600 LIMS=4000 M8 M3=3
N540 G17 F0.25
N550 MCALL CYCLE81(-100, 21, 1, 16, , 0, 10, 1, 11)
N560 HOLES2(0, 0, 48, 72, 30, 5, 1000, 0, , , 1)
N570 G0 X300 Z-50
N580 M3=5 M9
N590 MSG ("ŘEZANI ZAVITU M6")
N600 T="ZÁVITNÍK M6" D1
N610 G97 S800 LIMS=4000 M8 M3
N620 G17 F1
N630 MCALL CYCLE84(-100, 21, 1, , 12, 0.6, 5, , 1.5, 0, 5, 5, 0, 1, 0, 0, 5, 1.4, , , ,
N640 HOLES2(0, 0, 48, 180, 30, 1, 1000, 0, , , 1)
N650 G0 X300 Z-50
N660 M5 M9
N670 MSG ("ŘEZANI ZAVITU M14")
N680 T="ZÁVITNÍK M14" D1
N690 G97 S340 LIMS=4000 M8 M3
N700 G17 F2
N710 MCALL CYCLE84(-100, 21, 1, 33, , 0.6, 4, , 2, 45, 5, 5, 0, 1, 0, 0, 5, 1.4, , "ISO
N720 HOLES2(0, 0, 48, 0, 30, 5, 1010, 0, , , 1)
N730 G0 X300 Z-50
N740 M5 M9 M30
```

PŘÍLOHA 15

Simulace obrábění přiložena na CD.